



Arttu Sjöstedt

Uloskäytävän paineistuksen toiminnallinen mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

26.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Arttu Sjöstedt
Otsikko: Uloskäytävän paineistuksen toiminnallinen mitoitus
Sivumäärä: 61 sivua + 2 liitettä
Aika: 26.4.2022

Tutkinto: Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-tekniikka
Ohjaajat: Yliopettaja Aki Valkeapää, Metropolia
Kehittämispäällikkö Joni Kinnunen, Sitowise

Opinnäytetyö käsittelee maanalaisen pysäköintilaitoksen uloskäytävien paineistuksen toiminnallista mitoitusta. Erityisesti työssä keskitytään vertailemaan eri paineistusratkaisuja keskenään ja tutkitaan, miten paineistusta voidaan mallintaa käyttäen toiminnallisen palomitoituksen keinoja.

Kirjallisuuskatsauksessa tutustuttiin uloskäytävien perusvaatimukseen lainsäädännön ja ohjeistuksen kautta. Työssä tarkasteltiin, miten poistuminen rakennuksista vaihtelee, ja mitä merkitystä rakennuksen sijoittumisella maan alle voi olla poistumisen kannalta. Lisäksi työssä perehdyttiin paineistuksen mitoittamista ohjaavaan EN-standardiin sekä siihen, miten paineistus tukee poistumista tulipalon aikana ja parantaa sammutustoiminnan olosuhteita.

Työssä on kuvattu lähtötietojen valintaa ja niiden vaikutusta laadittaviin simuloituihin. Esimerkkikohteena on käytetty erästä suunnitteilla olevaa maanalaista pysäköintilaitosta, mutta tuloksien kannalta kohde ei ole olennainen. Tarkoituksena oli löytää keinoja, joilla uloskäytävien paineistusratkaisuita voitaisiin myös jatkossa mitoittaa toiminnallisesti.

Tuloksista käy ilmi, että lähtötietojen suuri määrä lisää toiminnallisen mitoituksen haastetta ja niiden valinnassa tulee käyttää asiantuntija-arvioita, koska kaikkia lähtötietoja ei yksiselitteisesti ole kirjallisuudessa määritetty. Myös kohteet ovat hyvin erilaisia, jolloin järjestelmän suunnittelijan tulee tuntea järjestelmän lisäksi myös kohdekokonaisuudessaan.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin hyviä malleja ja koostettua runsaasti lähtötietoja, joita voidaan käyttää seuraavien vastaavan tyyppisten kohteiden suunnittelussa ja toiminnallisessa mitoituksessa. Työn perusteella paineistusjärjestelmä on mahdollista mitoittaa myös toiminnallisen palomitoituksen keinoin. Tällä mitoitustavalla voidaan päästä vähintään yhtä hyvään lopputulokseen, kuin standardin mukaisesti mitoitetulla järjestelmällä. Työn tuloksia on mahdollista hyödyntää myös LVI-suunnittelun tukena ja auttamaan LVI-suunnittelijaa ymmärtämään toiminnallisen mitoituksen tavoitteita.

Avainsanat: uloskäytävä, paineistus, FDS, savunhallinta

Abstract

Author: Arttu Sjöstedt
Title: Performance Based Design of Stairwell Pressurization System
Number of Pages: 61 pages + 2 appendices
Date: 26th April 2022

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer
Joni Kinnunen, Development Manager

This thesis studied and compared, using performance-based design, sizing of over-pressure systems for exit routes of an underground car park, mainly to establish how a pressurization system could be modelled in FDS, and what initial data was needed for calculations.

Prescriptive code and guides were reviewed, and the stages of evacuation, and the differences of underground buildings to buildings above ground discussed. The reasons for stairwell pressurization were collected by studying the EN-code for over-pressure systems. All information was applied to the evacuation process of a building.

The thesis discussed obtaining initial data for a building at the early design stage. A sample performance-based design was done for an ongoing project to find best practises to study further and use in performance-based projects.

The thesis showed that the designer must use their judgement in many design choices as the number of variables affecting the performance of an over-pressure system is very large. Furthermore, it is very important for the designer to consider the entire building, and not only one system.

The thesis resulted in several models and design ideas to refine and use. The performance-based design in the design of pressurization systems for underground facilities was shown to be a match for prescriptive, code-based design.

Keywords: over pressurization, stairwell, exit route, performance-based design, FDS

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	2
1.2	Tavoitteet ja toteutus	3
2	Uloskäytäviin liittyvät määräykset ja ohjeet	4
2.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	5
2.2	Asetus rakennusten paloturvallisuudesta	5
2.3	Ohjeet, julkaisut ja standardit	6
3	Poistuminen	6
4	Paineistus	8
4.1	Paineistuksen periaate poistumisturvallisuuden kannalta	8
4.2	Paineistusjärjestelmän osat	10
4.3	Paineistusluokat	11
4.3.1	Paineistusluokan C vaatimukset	12
5	Paineen nousu palo-osastossa	14
6	Toiminnallinen mitoitus	15
6.1	Käytettävät ohjelmistot	15
6.2	Esimerkkikohde	16
6.3	Poistumissimulointi ja poistumisaika	17
6.4	Tutkimuksessa käytettävät poistumisajat	17
6.5	Palosimulointi ja olosuhteet uloskäytävässä	20
7	Palosimulointimalli	22
7.1	Käytetty geometria	22
7.2	Ympäristön olosuhteet	24
7.3	Mitoituspalo	25
7.3.1	Hiilimonoksidi ja noen tuotto	27
7.4	Vuodot	29
7.4.1	Vaipan vuodot	29

7.4.2	Palo-ovien vuodot	30
7.4.3	Ilmanvaihtojärjestelmän vuodot	31
7.5	Mittauspisteiden sijoittelu	32
8	Tarkasteltavat suunnitteluratkaisut	33
8.1	Lähtötilanne pelkillä vuodoilla ja ovien avautumisilla	34
8.2	Standardin mukainen paineistusratkaisu	35
8.2.1	Pienennetyn ilmamäärän paineistusratkaisu	36
8.3	Vaihtoehtoiset ratkaisut	36
8.4	Herkkyystarkastelu	37
8.5	Mallintamatta jätettävät asiat	38
9	Simuloinnin tulokset	38
9.1	Mallinnetut skenaariot	39
9.1.1	Toteutuneet palotehot	39
9.1.2	Näkyvyys	40
9.1.3	Lämpötila	44
9.1.4	Paine	46
9.1.5	Virtaukset	48
9.1.6	FED-arvot	55
10	Johtopäätökset	56
11	Yhteenveto	57
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1: Esimerkki FDS-koodista	
	Liite 2: Pohjakuva mitoilla	

Lyhenteet

- FED: *Fractional Effective Dose*. Arvo, jolla kuvataan hengitettyjen kaasujen kumulatiivista annosta verrattuna niiden lamaannuttamista aiheuttamaan vaikutukseen.
- FDS: *Fire Dynamic Simulator*. Ohjelmisto tulipalojen simulointiin ja mallintamiseen.
- MRL: Maankäyttö- ja rakennuslaki
- NIST: *National Institute of Standards and Technology*. Yhdysvaltalainen valtion virasto, joka vastaa toiminnaltaan kotimaista Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:tä.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan toiminnallisen palomitoituksen keinoin maanalaisen pysäköintilaitoksen uloskäytävien paineistusratkaisujen vaikutusta rakennuksen poistumisturvallisuuteen ja pelastuslaitoksen toimintaedellytyksiin. Tutkimusaihe on valittu siksi, että paineistettujen uloskäytävien toteuttaminen ei Suomessa ole edelleenkään yleistä, ja aihe herättää paljon keskustelua rakennushankkeiden parissa työskentelevien tahojen välillä. Kuten muissakin tiloissa, myös maanalaisissa tiloissa olennaista on estää tulipalojen syttyminen ja mahdollistaa kohteessa oleskelevien henkilöiden turvallinen ulospääsy ennen kuin olosuhteet muuttuvat henkilöturvallisuuden kannalta kohtalokkaiksi [1, s. 9].

Uloskäytävien turvallisuus on olennainen tekijä palotilanteen henkilövahinkojen syntymisen kannalta, ja parantamalla uloskäytävien turvallisuutta on mahdollista huomattavasti parantaa myös koko rakennuksen paloturvallisuutta. Toimivilla uloskäytävillä on mahdollista myös pienentää tulipalon aineellisia vahinkoja, koska tällöin pelastuslaitoksen operatiivisen osaston on mahdollista käyttää samoja reittejä saavuttaakseen palopaikan mahdollisimman nopeasti ja täten edesauttaa tehokasta sammutustoimintaa.

Opinnäytetyön laadinta on aloitettu Paloässäät Oy:ssä ja työ valmistuu Sitowise Oy:lle, koska yrityskaupan johdosta yritykset ovat fuusioituneet. Paloässäät Oy oli paloturvallisuussuunnitteluun erikoistunut noin 20 hengen yritys, ja nyt osana Sitowiseä sen henkilöstö jatkaa paloturvallisuussuunnittelun tehtävissä yhdessä heidän aiempien paloturvallisuussuunnittelijoidensa kanssa. Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää jatkossa vähintään lähtötietona muissa suunnitteluhankkeissa. Lisäksi sen oppeja voidaan käyttää paloteknisen suunnittelun lisäksi myös yrityksen LVI-suunnittelun puolella, kun kohteisiin suunnitellaan paineistusratkaisuja tai vaihtoehtoja näille.

Opinnäytetyö toteutettiin laskennallisilla menetelmin, ja työ liittyy tutkimuksen tekijän suunnittelukohteena olevaan rakennushankkeeseen. Opinnäytetyön kan-

nalta itse rakennushanke ei ole olennainen, vaan laskennallisia menetelmiä sovelletaan yleisempään mallinnukseen, joka mahdollistaa tulosten soveltamista myös muissa suunnitteluhankkeissa.

1.1 Tausta

Maanalaiset pysäköintilaitokset yleistyvät kaupunkien keskustoissa ja kasvukeskuksissa, joissa rakentaminen tiivistyy ja joissa rakennusmassat muodostavat erityisesti asuinrakennusten osalta tiiviitä korttelikokonaisuuksia. Julkista tilaa halutaan yhä useammin vapauttaa jalankulkijoille, pyöräilijöille ja julkiselle liikenteelle, mikä tarkoittaa sitä, että autoille varattu tila kaduilla kapenee. Kadunvarisipysäköinti ei ole tehokasta ja Suomessa se aiheuttaa myös katujen kunnossapidolle ongelmia erityisesti talviaikaan. Suuret keskitetyt maanalaiset pysäköintilaitokset tukevat katutilan vapauttamista autoilta julkiseksi tilaksi, minkä vuoksi erityisesti Helsingissä on viimeisten vuosien aikana käynnistetty useita suunnittelu- ja rakennushankkeita maanalaisia pysäköintilaitoksia koskien. [2, s. 35–41]

Vaikka henkilötiheys pysäköintilaitoksissa harvemmin onkaan kovin suuri, aiheuttavat suuret tilat kuitenkin sen, että pysäköintilaitosten uloskäytäväratkaisujen mahdollisessa hätätilanteessa tulee olla hyvin suunniteltuja ja toimivia. Oman haasteensa poistumiseen tuo se fakta, että pysäköintilaitokset tyypillisesti sijaitsevat syvällä kalliossa, josta poistuminen tapahtuu pystysuuntaista porrasyhteyttä pitkin maan pinnalle. Tällöin uloskäytävässä joudutaan kulkemaan pitkän aikaa. Tämä tarkoittaa sitä, että maanalaisten tilojen uloskäytävät tulee suunnitella erityisen huolellisesti, jotta turvallinen poistuminen kaikissa olosuhteissa voidaan taata. Pelastuslaissa 379/2011 on 9 §:ssä kirjattu, että rakennus, rakennelma ja sen ympäristö pidetään sellaisessa kunnossa, että rakennuksessa olevat henkilöt pystyvät tulipalossa tai muussa äkillisessä vaaratilanteessa poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muulla tavoin [3].

Tarkemmat määräykset henkilöiden poistumisjärjestelyiden toteuttamiseksi rakennuksista on annettu asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta

(848/2017). Asetusta rakennusten paloturvallisuudesta sovelletaan uuden rakennuksen rakentamiseen, rakennusten laajennuksiin sekä tietyiltä osin myös rakennusten korjaus- ja muutostöiden paloturvallisuuden varmistamiseen. Asetuksessa on esitetty, että paloturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan käyttäen asetuksessa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja. Vaihtoehtoinen tapa osoittaa rakennuksen paloturvallisuusvaatimusten täyttyminen on käyttää oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua. [4]

Opinnäytetyön aihe valikoitui, kun suunnitteilla olevan maanalaisen pysäköintilaitoksen toiminnallisen mitoituksen lähtötietoja käsiteltiin Helsingin rakennusvalvonnan teknillisessä työryhmässä, jossa yhdeksi ratkaisuvaihtoehdoksi vaakasuuntaisten uloskäytävien turvallisuuden parantamiseksi esitettiin työryhmän toimesta paineistusjärjestelmää. Kohde on suunniteltu toiminnallisesti mitoitettavaksi sen taulukkoarvon ylittävän palo-osastokoon sekä poistumismatkojen vuoksi.

1.2 Tavoitteet ja toteutus

Tämän työn tavoitteena on vertailla toiminnallisen mitoituksen keinoin erilaisia ratkaisumalleja, joilla maanalaisissa pysäköintilaitoksissa voitaisiin parantaa uloskäytävien turvallisuutta. Ratkaisumallit perustuvat paineistuksen toteutukseen ja erilaisiin variaatioihin, joilla uloskäytävää pyritään pitämään savuttomana ja kulkukelpoisena. Työssä vertaillaan paineistettua ratkaisua paineistamattomaan uloskäytävän ratkaisuun ja lisäksi tarkastellaan, onko poistumisen kannalta merkitystä sillä, kulkeeko kaksikerroksisessa pysäköintilaitoksessa vaakasuuntainen uloskäytävä ainoastaan yhdessä tasossa, vai tulisiko jokaisella tasolla olla oma vain kyseistä tasoa palveleva vaakasuuntainen uloskäytävä. Työn aihe on lähtöisin eräästä käynnissä olevasta suunnittelukohteesta, mutta tarkoituksena on tehdä tarkastelu yleistettynä siten, että tutkimuksen kautta saatavia oppeja voidaan soveltaa myös tulevilla suunnittelukohteilla. Paloteknisen suunnittelun osalta toiminnallisesti mitoitettavat kohteet tulee aina

suunnitella erikseen, mutta tämän tutkimuksen taustatiedon avulla on mahdollista nopeuttaa tulevien kohteiden suunnittelua. Tästä syystä tässä työssä ei käydä läpi yksittäisen kohteen osalta kaikkia asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta vaadittavia toiminnallisen mitoituksen lähtötietoja ja tuloksia, vaan tutkimustuloksissa keskitytään löytämään niitä asioita, jotka ovat merkityksellisiä myös muiden kohteiden uloskäytävien paineistusjärjestelmien suunnittelussa.

Tutkimus suoritetaan käyttäen apuna CFD-laskentaa (Computational Fluid Dynamics). CFD-laskenta tarkoittaa tietokoneavusteista virtauslaskentaa, joka tässä työssä toteutetaan FDS-ohjelmiston (Fire Dynamics Simulator) avulla. FDS [5] on NIST:in ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n yhdessä kehittämä, helmikuussa 2000 julkaistu laskentaohjelmisto. FDS on tehokas virtausratkaisija yhdistettynä paloturvallisuustekniikan fysikaalisiin malleihin ja syötetietojen käsitteisiin. Paloturvallisuussuunnittelussa FDS on laajasti käytetty ohjelmisto, joka on kehitetty erityisesti palon aikaan saamien kaasujen ja nesteiden virtausten ja käyttäytymisen mallintamisen. Ohjelman avulla saadaan luotua malli, joka jaetaan pieniin laskentasoluihin, joissa jokaisessa lasketaan erikseen siinä tapahtuva kaasun tai nesteen virtaus ja tätä prosessia iteroimalla saadaan laskettua koko mallille ajasta riippuva virtauskenttä. [6, s. 3–6]

Työtä varten valitaan tietty määrä laskettavia skenaarioita eli tapauksia, jotka poikkeavat lähtösyötteeltään toisistaan. Simuloitavat skenaariot lasketaan FDS-ohjelmistolla. Apuna simulointitiedoston luontia varten käytetään kaupallista graafista käyttöliittymää Pyrosim [7], jonka avulla saadaan helposti tuotettua FDS:n laskentaa käyttämä syöttökoodi.

2 Uloskäytäviin liittyvät määräykset ja ohjeet

Rakentamista sääntelevät useat eri lait ja määräykset, joista tähän on poimittu paloturvallisuussuunnittelun sekä toiminnallisen mitoituksen kannalta olennaisimmat näkökohdat. Seuraavissa kappaleissa käsiteltävät laki- ja määräystekstit käsitellään siltä osin, kun ne soveltuvat uudisrakentamiseen sekä toiminnalliseen palotekniseen suunnitteluun.

2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) (132/1999) on perusta Suomen rakentamista koskevalle lainsäädännölle, koska siinä on säädetty rakennusten suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä. Maankäyttö- ja rakennuslain 12 §:n mukaisesti rakentamisen ohjauksen tavoitteena on edistää hyvän ja käyttäjien tarpeita palvelevan, terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sekä sosiaalisesti toimivan ja esteettisesti tasapainoisen elinympäristön aikaansaamista [8].

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on sen 13 §:ssä säädetty, että ympäristöministeriö ylläpitää Suomen rakentamismääräyskokoelmaa. Rakentamismääräyskokoelmat sellaisenaan ovat kumoutuneet ja niitä korvaamaan on annettu asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Esimerkiksi maankäyttö- ja rakennuslain 117 b §:ssä on kirjattu, että ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uuden rakennuksen rakentamista varten tarvittavia tarkempia säännöksiä, jotka voivat koskea esimerkiksi poistumisturvallisuutta. [8]

2.2 Asetus rakennusten paloturvallisuudesta

Kuten aiemmin on todettu, ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta koostaa kaikki rakentamisen olennaisimmat paloturvallisuusmääräykset. Poistumisturvallisuutta käsitellään asetuksen luvussa 6. Yleisenä vaatimuksena on, että rakennuksesta on voitava poistua turvallisesti tulipalossa. Poistuminen rakennuksista tapahtuu uloskäytäviä pitkin, joiden on johdettava ulos maan pinnalle tai muulle palon sattuessa turvalliselle paikalle. [4] Uloskäytäväksi mielletään yleensä rakennuksesta suoraan ulos johtavat ulko-ovet sekä porrashuoneet. Kaikki rakennuksen porrashuoneet eivät välttämättä toimi uloskäytävinä. Uloskäytävät ovat kuitenkin aina rakennuksissa opastettuja. Suomalaisessa rakennussuunnittelussa ei käytännössä tunneta ratkaisua, jossa kohteeseen olisi rakennettu erityisesti suunniteltu tila, josta henkilöt voitaisiin tulipalon jälkeen pelastaa.

Maanalaisista tiloista uloskäytävän tulee siis johtaa maanpinnalle, mutta asetuksessa ei ole määritelty kovinkaan tarkasti, minkälainen tämä uloskäytävän tulee olla. Olennaista on huomata, että uloskäytävää ei saa rakentaa palokuormaa lisäävällä tavalla, eivätkä käytettävät tarvikkeet, rakennusosat tai uloskäytäviin sijoittavat laitteet saa savunmuodostuksen takia vaarantaa henkilöturvallisuutta.

Asetus rakennusten paloturvallisuudesta määrittelee kyllä suurimmat sallitut etäisyydet, jotka henkilöt voivat kulkea palo-osaston sisällä, ennen kuin heidän tulee päästä uloskäytävään. Autosuojan osalta tämä etäisyys on 45–70 metriä riippuen kohteen aktiivisista paloturvallisuusjärjestelmistä ja tilan korkeudesta. Käytännössä suurissa autosuojissa puhutaan yleensä noin 60 metrin sallitusta kulkureitin pituudesta lähimpään uloskäytävään. [4]

Uloskäytävässä kuljettavaa matkaa ei siis määräystasolla ole määritelty millään tavalla. Tämä osaltaan saattaa johtaa erikoisiin tulkintoihin siitä, että mikäli uloskäytävä muodostuu vaakasuuntaisesta ja pystysuuntaisesta osuudesta, olisi se jollain tavalla vaarallisempi kuin pelkästään pystysuuntainen uloskäytävä.

2.3 Ohjeet, julkaisut ja standardit

Poistumista ja erityisesti teknisiä järjestelmiä, jotka tukevat poistumista muun muassa automaattista paloilmoitinjärjestelmää, savunpoistoa ja paineistusta koskien on olemassa palon erilaisia ohjeita, julkaisuja ja standardeja. Nämä käsitellään erikseen tässä työssä myöhemmin niiltä osin, kun ne vaikuttavat tämän työn mukaisen ratkaisun löytymiseen.

3 Poistuminen

Palotilanteessa on tärkeää, että poistuminen kohteessa alkaa nopeasti, jotta ihmiset eivät altistu myrkylliselle savukaasulle tai palon aiheuttamalla kuumuudelle. Poistumisen kannalta on siis tärkeää, että molemmat nämä kriteerit säilyvät hyväksyttävällä tasolla, mutta tämän lisäksi poistumisen onnistumisen kan-

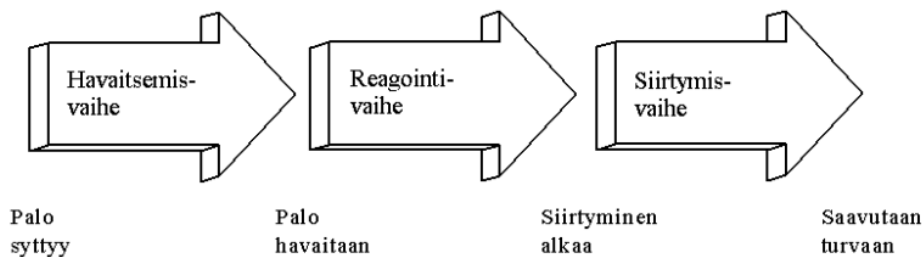
nalta olennaista on se, löytääkö ihminen pois palavasta tilasta. Tästä syystä palon havaitsemisen nopeudella ja poistumisen sujuvuudella on olennainen merkitys sille, pystyvätkö ihmiset poistumaan palavasta tilasta ennen kuin olosuhteet poistumisen kannalta heikkenevät liiaksi, ja poistuvat henkilöt altistuvat joko myrkyllisille palokaasuille tai palon aiheuttamalle kuumuudelle. Poistuminen tulipalotilanteessa on kuvattu tarkasti muun muassa Weckmanin vuonna 2005 ilmestyneessä julkaisussa *Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä* [9, s.10]. Weckmanin mukaan ”tutkittaessa poistumisolosuhteita voidaan lähteä asiaa lähestyä siten, että poistumisen katsotaan alkavan siitä hetkestä, kun palo syttyy, ja päättyvän sillä hetkellä, kun tilassa olevat henkilöt ovat päässeet turvaan” [9, s. 10].

Poistuminen palotilanteessa voidaan jakaa useampaan vaiheeseen, mutta useimmiten mallitarkasteluissa käytetään kolmea vaihetta. Ensivaiheessa henkilön pitää saada tieto siitä, että tilassa on alkanut tulipalo. Maanalaiset pysäköintilaitokset on tyypillisesti, toki palo-osaston koosta riippuen, varustettu automaattisella paloilmoittimella, jonka tarkoituksena on nopeasti havaita palo ja ilmoittaa vaarasta äänihälytyksellä. Ensimmäinen aistihavainto voi olla myös hajui- tai näköhavainto savusta tai liekeistä. Tätä vaihetta kutsutaan palosuunnittelussa havaitsemisvaiheeksi. Havaitsemisvaiheen kestoa voidaan arvioida joko perustuen kokeelliseen tutkimustietoon tai se voidaan mallintaa palosimuloinnin yhteydessä. [9, s. 10]

Saatuaan tiedon tulipalosta tai sen vaarasta henkilön tulee tehdä päätös siitä, lähteekö hän poistumaan tilasta, ja mihin suuntaan poistuminen tapahtuu. Tähän vaiheeseen vaikuttaa myös olennaisesti se, missä henkilö palon havaitessaan on, kenen seurassa henkilö mahdollisesti on, ja mitä muut ihmiset ympärillä tekevät. Tätä vaihetta kutsutaan palosuunnittelussa henkilön reagoitivaiheeksi. Reagoitivaiheen kesto on tyypillisesti sellainen tieto, joka valitaan aiempaan tutkimustietoon perustuen. [9, s. 10]

Lopuksi poistuminen käynnistyy, ja henkilö siirtyy kohti valitsemaansa uloskäytävää. Tämä vaihe kulkee nimellä siirtymisvaihe [9, s. 11]. Siirtymisvaiheen pituuteen vaikuttaa esimerkiksi se, kuinka nopeasti henkilö pystyy liikkumaan, onko matkalla hidastavia tekijöitä, kuten esimerkiksi portaita, ja kuinka pitkän matkan henkilö joutuu kulkemaan, jotta hän pääsee poistumaan rakennuksesta. Siirtymävaiheen kesto lasketaan nykyään yleensä poistumissimulointiohjelmilla, vaikka myös käsin laskemalla on mahdollista yksinkertaisessa tapauksessa arvioida poistumisen siirtymävaiheen kesto.

Koko poistumisen prosessi on kuvattu alla kuvassa 1.



Kuva 1. Poistumisen eri vaiheet Weckmanin mukaan kuvattuna [9, s. 10].

Kuvan 1 mukaisesti nähdään, että poistumisen vaiheet seuraavat toisiaan, ja arvioimalla tai tuntemalla vaiheiden kestot voidaan määrittää kokonaispoistumisaika, joka muodostuu palon havaitsemis-, reagointi- ja siirtymävaiheiden summasta.

4 Paineistus

4.1 Paineistuksen periaate poistumisturvallisuuden kannalta

Savukaasuilla on niiden nosteen vuoksi pyrkimys nousta ylöspäin. Porrashuoneessa savun nostetta kuitenkin rajoittavat esimerkiksi portaat, jolloin virtaus ei ole samanlainen kuin tyhjässä kuilussa. Täyden mittakaavan kokeissa on kui-

tenkin todettu, että palon aiheuttama noste on dominoiva voima, joka ajaa savukaasuja ylös porrashuoneessa. Samassa tutkimuksessa kuitenkin havaittiin savukaasujen pyörteilyä portaan geometriasta johtuen, minkä lisäksi lämpötilan havaittiin pienenevän eksponentiaalisesti, mitä ylempänä sitä mitattiin [10, s. 2757–2765]. Normaalissa porrashuoneessa on siis poistumisturvallisuuden kannalta suuri merkitys sillä, missä palo mahdollisesti syttyy. Alemmissä kerroksissa alkava palo vaikuttaa todennäköisemmin koko rakennuksen poistumiseen kuin ylempänä syttyvä palo. Maanalaisissa tiloissa asia on kuitenkin savukaasujen nosteen vuoksi käytännössä aina niin, että jos savukaasuja päätyy uloskäytävänä toimivaan porrashuoneeseen, vaikuttaa tämä välittömästi koko maanalaisen tilan poistumiseen. Ilmiö mahdollisesti voimistuu entisestään, jos alhaalla olosuhteet muodostuvat sellaisiksi, että ilma portaan alapäässä on kuumempaa kuin yläpäässä, ja ovet ovat auki sekä alhaalla että ylhäällä. Tällöin pahimmassa tapauksessa uloskäytävä toimii ikään kuin savupiippuna, ja virtaus alhaalta ylöspäin voimistuu. Maanalaiset pysäköintilaitokset ovat tyypillisesti kylmiä, jolloin myös tällä voi olla vaikutusta porrashuoneessa tapahtuviin virtauksiin.

Tuuli voi vaikuttaa myös maanpäällisissä rakennuksissa uloskäytävien painesuhteisiin, koska tyypillisesti tuulen suunnasta rakennuksen julkisivuun kohdistuu ylipaine ja vastaavasti toisella puolella rakennusta julkisivuun kohdistuu alipainetta. Mikäli rakennuksen julkisivu ei ole tiivis, voi tämä potentiaalisesti aiheuttaa myös porrashuoneissa voimakkaitakin virtauksia, joilla taas puolestaan on vaikutusta savun liikkeisiin uloskäytävässä. [11, s. 463] Maanalaisten tilojen tapauksessa ei kuitenkaan yleensä tarvitse huomioida tuulen vaikutusta porrashuoneen paineolosuhteisiin, koska porrashuoneet, jotka toimivat uloskäytävinä, sijaitsevat käytännössä maan alla, missä tuuli ei niihin vaikuta.

Uloskäytävän paineistusjärjestelmän tavoitteena on pyrkiä estämään savun leviämistä tilojen välillä suljettujen rakenteiden ja ovien pienten aukkojen kautta tai avoimien ovien kautta. Paineistusjärjestelmän toiminta voidaan yksinkertaistetusti jakaa kahteen eri toimintaan. Tilanteessa, jossa paineistettava tila on sul-

jettu, paineistusjärjestelmän tavoitteena on ylläpitää paine sellaisena, ettei mahdollisista pienistä raoista ja vuodoista pääse uloskäytävän puolelle savukaasuja. Toinen ehkä tärkeämpi kriteeri muodostuu siinä tilanteessa, kun palavan tilan ja paineistetun uloskäytävän välinen ovi avataan. Tällöin paineistusjärjestelmällä pyritään saamaan oviaukkoon virtaus uloskäytävästä palavaan tilaan päin, jolloin tämä puhdas ilmavirta estää savukaasujen leviämisen uloskäytävään oviaukon kautta silloin, kun henkilöt poistuvat oven läpi. Taas oven sulkeuduttua järjestelmä pyrkii ylläpitämään asetettua ylipainetta suhteessa palavaan tilaan.

[12]

4.2 Paineistusjärjestelmän osat

Paineistusjärjestelmä käsitetään osaksi savunhallintajärjestelmää. Tyypillisesti savunhallintajärjestelmä koostuu useista osista, jotka toimivat yhdessä muodostaen kokonaisuuden, jonka avulla rakennuksessa hoidetaan savunpoistoa tai savunhallintaa. Tämän opinnäytetyön ja simuloinnin kannalta olennaisimmat laitteiston osat ovat:

- savunpoisto- ja paineistuspuhaltimet
- ilman kuljettamiseen tarkoitetut kanavistot
- savunhallintapellit
- palo-ovet ja mahdolliset muut savun leviämistä rajoittavat ovet
- ohjausjärjestelmä sisältäen palon ilmaisujärjestelmän

Muodostuva laitteistokokonaisuus on toki monimutkaisempi, mutta tutkimalla näiden laitteiden toimintaa toiminnallisesti, voidaan tässä etsiä soveltuva ratkaisu, jolla uloskäytävät saadaan pysymään toimintakunnossa niin poistumisen kuin pelastuslaitoksen toiminnan kannalta. Huomioitavaa on, että laitteistojen toimintavarmuudelle on asetettu standardeissa vaatimuksia, jotka vaikuttavat siihen, mitä tuotteita missäkin kohtaa voidaan käyttää. [13, s. 127]

4.3 Paineistusluokat

Kuten aiemmin on todettu, paineistusjärjestelmä on mahdollista suunnitella ns. taulukkomitoituksen periaatteiden mukaisesti käyttäen kansalliseksi standardiksi vahvistettua eurooppalaista standardia EN 12101-6:2005 Savunhallintajärjestelmät. Osa 6: Paineistus. Toisaalta on myös todettava, että toiminnallisesti mitoitettavassa kohteessa paineistus on myös mahdollista toteuttaa siten, että se suunnitellaan perustuen olosuhteiden oletettavaan kehittymiseen tulipalotilanteessa.

Standardi EN 12101-6 kuitenkin määrittelee paineistukselle kuusi eri luokkaa, jotka määräytyvät niiden toimintaperiaatteiden mukaisesti. Mitoituskriteerit vaihtelevat eri luokkien välillä, ja tyypillisessä suunnitteluhankkeessa paineistusluokan valinta tehdään kohteen paloturvallisuussuunnittelijan toimesta yhteistyössä paikallisten viranomaisten kanssa. RIL:in savunhallintajärjestelmien suunnitteluohjeessa *Rakennusten savunhallinta – Suunnittelu, toteutus ja ylläpito* on esitetty kuvan 2 mukaiset toimintaperiaateluokat, jotka perustuvat standardiin EN 12101-6.

Paineistusluokka	Käyttöesimerkki
A	Poistumisen turvaaminen paikallisesti
B	Poistumisen turvaamisen ohella sammutushyökkäys hissejä käyttäen
C	Poistumisen turvaaminen ja samanaikainen pelastustoiminta
D	Nukkuvien ihmisten poistumisen turvaaminen
E	Poistumisen turvaaminen vaiheistetussa pelastustehtävässä
F	Sammutushyökkäyksen ohella poistumisen turvaaminen porrashuoneen kautta

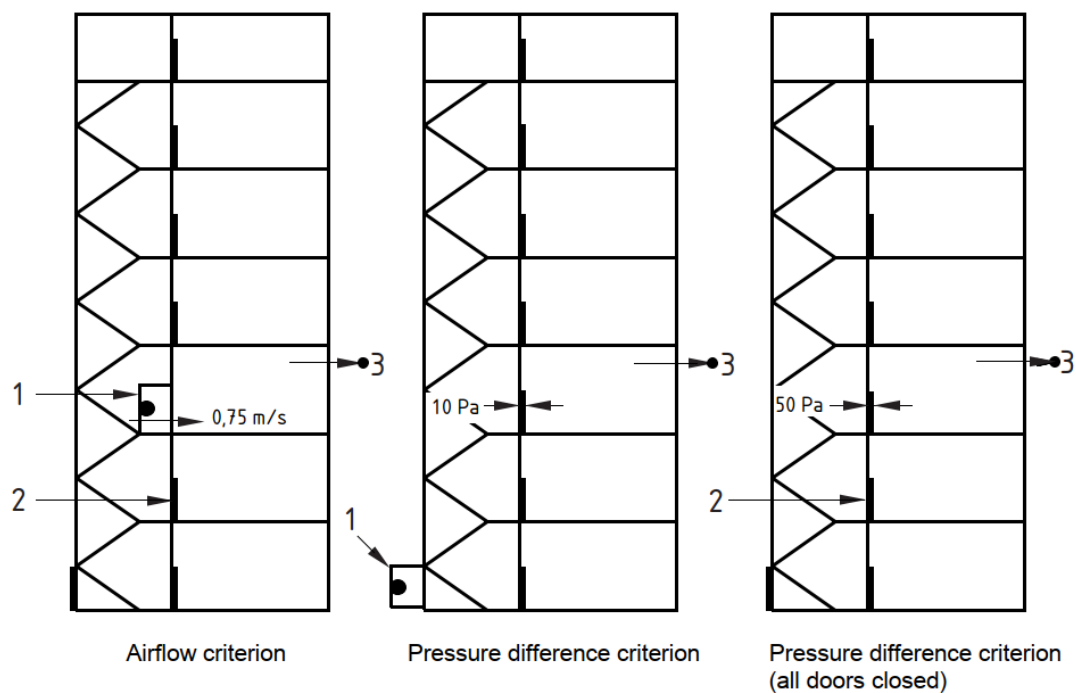
Kuva 2. Eri paineistusluokkien käyttöesimerkit [13, s. 127].

Maanalaisen kohteen tilanteessa parhaiten käytettäväksi soveltuu paineistusluokan C mukainen ratkaisu, jossa koko rakennus evakuoidaan yhdenaikaisesti

ja paineistuksella halutaan turvata myös pelastuslaitoksen toimintaa ja mahdollistaa sammutustoiminnalle parhaat mahdolliset olosuhteet.

4.3.1 Paineistusluokan C vaatimukset

Standardin EN 12101-6 mukaisessa C-luokan paineistuksessa on tavoitteena saavuttaa vähintään ilman virtauskriteeri 0,75 m/s paineistetun tilan ja palavan tilan välillä, kun ovi paineistetusta tilasta palavaan tilaan avataan ja muut ovet paineistettuun tilaan ovat suljettuina. Normaalitilanteessa paineistusjärjestelmä pyrkii siis pitämään paineistetun tilan ja muiden tilojen välillä vähintään 50 Pascalin ylipainetta. Kuitenkin poistumistilanteessa tavoitteena on saavuttaa ovi-aukkoihin vähintään 0,75 m/s ilmavirtaus, joka estäisi savukaasujen leviämisen paineistettuun tilaan. Lisäksi pelastuslaitoksen toiminnan suhteen tässä paineistuskriteerissä on oletettu, että viimeisen uloskäytäväoven ollessa avoinna, järjestelmä pystyisi pitämään paineistetun ja palavan tilan välillä 10 Pascalin ylipainetta. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty eri vaiheiden toimintaa. [12, s. 20–22]



Key

- 1 Door open
- 2 Door closed
- 3 Air release path

Kuva 3. Paineistuksen mitoitustilanteiden painetasot ja virtauskriteerit [12, s. 21].

Kuvasta 3 voidaan nähdä, että standardin mukainen esimerkki viittaa porrashuoneeseen, jossa yhteyksiä uloskäytävään on monelta tasolta, ja toisaalta palokunnan hyökkäyksen oletetaan tapahtuvan keskimmäisen esimerkin mukaisesti alhaalta ylöspäin. Eli vaikka standardin mukaisista vaihtoehdoista tämän tutkimuksen mukaiseen ratkaisuun paineistusluokka C soveltuukin parhaiten, ei sen mitoituskriteereitä voida pitää ainoana oikeana ratkaisuna.

Tässä työssä tullaan siis tutkimaan, miten kuvitteellinen paineistusluokan C ratkaisu vertautuu muihin ratkaisuihin, joita toiminnallisen mitoituksen keinoin voidaan kohteeseen suunnitella. Yksi tärkeä asia myös muita ratkaisuja tutkittaessa on huomioida se, että ovien avautumiseen vaadittava voima tulee tarkastella erikseen, erityisesti, jos rakennetaan järjestelmää, jossa uloskäytävässä

olevaa paineen nousua ei kontrolloida esimerkiksi paineanturin välittämän tiedon perusteella. Standardin mukaisessa ratkaisussa on erikseen huomautettu, että oven avautumisvoima ei saa ylittää 100 N:ia [12, s. 22].

5 Paineen nousu palo-osastossa

Tulipalojen osalta on yleisesti tunnettu, kuten esimerkiksi Mowrer esittää julkaisussaan *Enclosure Smoke Filling and Fire-Generated Environmental Conditions*, että palo saa aikaan kaasujen laajentumista, joka johtaa suljetussa osastossa paineen nousuun [14, s. 1066]. Tulipalon dynamiikkaan kuitenkin vaikuttaa huomattavasti se, millaisessa tilassa palo syttyy, millaiset vuodot tai ilmavirtaukset tilaan vaikuttavat sekä kuinka paljon happea palolla on käytettävissä.

Bekish on diplomityössään *Numerical Simulations of Pressure effects in Passive Houses* tutkinut passiivitalojen paineen nousua tulipalotilanteessa toiminnallisen mitoituksen keinoin. Työssään hän on laatinut kirjallisuuskatsauksen, jossa on esitetty eri tutkimusten löydöksiä paineen noususta suhteellisen pienissä palo-osastoissa. Tutkimusten perusteella on nähtävissä, että paineen vaihtelut eri tutkimuksissa ovat olleet hyvin erilaisia ja erityisesti ilmanvaihdolla on ollut vaikutusta siihen, minkälainen paineen nousu tutkimuksissa on korkeimmillaan havaittu. Tutkimuksissa havaittiin satojen tai jopa tuhansien Pascalien paineen nousuja. Olennainen havainto kaikissa tutkimuksissa oli se, että ilmanvaihdon kanavistoilla eli paineen purkausreiteillä oli merkittävä vaikutus paineen nousuun ja myös palon kehittymiseen. [15, s. 13–15]

Vaikka paineen nousua osastoissa on tutkittu huomattavasti, on kuitenkin todettava, että suurin osa etenkin kokeellisista tutkimuksista perustuu pienten osastojen tutkimuksiin. Esimerkiksi Fangin vuonna 1980 laatimassa huoneistopaloja koskevassa tutkimuksessa *Static Pressures Produced by Room Fires*, palotilan koko on ollut vain 3,2 x 3,2 metriä ja huonekorkeus oli 2,4 metriä [16, s. 3]. Tutkimusten kohdistaminen pieniin palo-osastoihin on loogista, koska suurien tilojen palotestien järjestäminen on erittäin kallista ja vaikeaa.

Suuremman tilan palosta aiheutuvasta paineen noususta ei ole saatavilla selkeää tutkimusnäyttöä, jolloin tässä työssä ei voida hyödyntää menettelyä, jossa määriteltäisiin pelkästään palotilan paineennousu, ja tämän perusteella saataisiin mallinnettua ilman virtausta palotilan ja uloskäytävän välillä. Työtä varten tulee siis huomioida myös palon mallintaminen suuressa palo-osastossa, jolloin palo-osaston vaikutus uloskäytävään saadaan parhaiten huomioitua.

6 Toiminnallinen mitoitus

Toiminnallisella mitoituksella tarkoitetaan suunnittelua, jossa ratkaisumallia etsitään taulukkoarvojen sijaan kokeilemalla eri ratkaisuja niissä olosuhteissa, joita kohteessa oletetaan todennäköisimmin esiintyvän. Paloteknisessä suunnittelussa tämä tarkoittaa yleensä oletetun palonkehityksen mallintamista ja poistumissimulointien laadintaa. Palosimulointiin tyypillisesti mallinnetaan kohteessa todennäköisesti tapahtuva palo, jonka perusteella on sitten mahdollista kokeilla esimerkiksi eri teknisten järjestelmien toimintaa näissä olosuhteissa.

Tässä työssä on tarkasteltu yhtä mahdollista ajoneuvon paloskenaariota ja muutettu uloskäytävän paineistukseen liittyviä järjestelyjä. Näin tutkimalla on mahdollista vertailla eri järjestelmien toimivuutta keskenään. Tämä ei olisi mahdollista suoraan tavanomaisella taulukkomitoituksella.

6.1 Käytettävät ohjelmistot

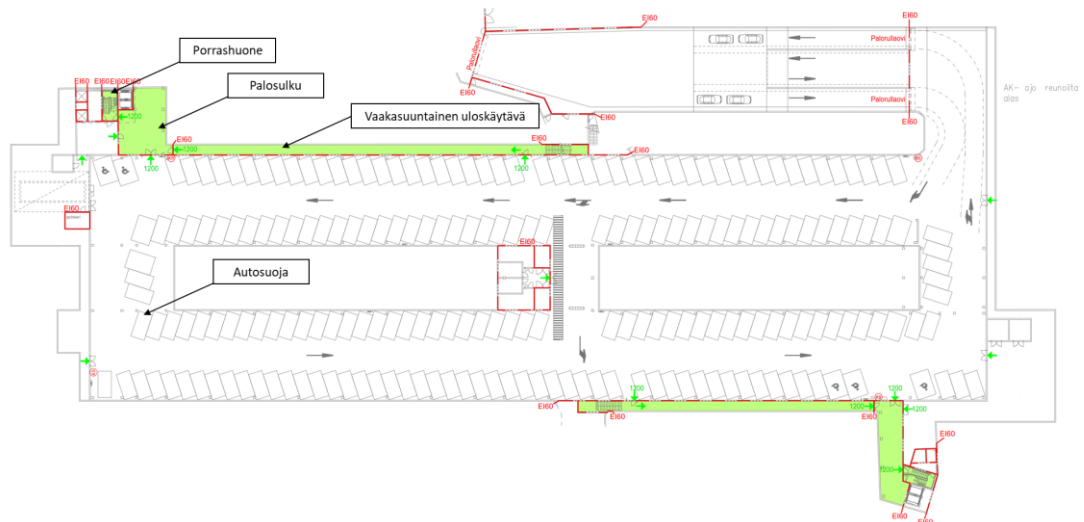
Palosimuloinnit on laadittu käyttäen FDS-ohjelmistoa, joka mahdollistaa palon ja sen aikaansaamien ilman liikkeiden tutkimisen. FDS:n versiona käytettiin versiota 6.7.6. Graafisena käyttöliittymänä FDS-mallin luontia varten käytettiin Pyrosim-ohjelmistoa (versio 2021.4.1201), jonka avulla pystytään luomaan FDS:n vaatima syöttötiedosto ilman, että syöttökoodia tarvitsee kirjoittaa kokonaan käsin. Esimerkki yhden laskennan FDS-syöttötiedostosta on tämän työn liitteessä 1.

Poistumissimulointeja varten mallin rakentaminen ja laskenta suoritettiin Pathfinder-ohjelmistolla (versio 2021.4.1201), joka on Pyrosim:in tavoin Thunderhead Engineering:in julkaisema ohjelmisto. Molemmat näistä ohjelmistoista ovat kaupallisia ohjelmia. Tulosten analysointia ja graafista esitystä varten käytettiin myös Microsoft Excel:iä.

6.2 Esimerkkikohde

Tutkimusta varten valittiin esimerkkikohteeksi todellinen suunnittelukohde. Nämä simuloinnit on kuitenkin laadittu ainoastaan tätä työtä varten. Niiden perusteella on tarkoitus jatkaa varsinaista kohteen suunnittelua, mutta työn olennaisimpana tavoitteena oli tässä kohtaa löytää tapoja, joilla uloskäytävien paineusratkaisuja voitaisiin tutkia myös muissa kohteissa.

Esimerkkikohde on kokonaan maanalainen pysäköintilaitos, jossa poistuminen on ajateltu tapahtuvan kahden pystysuuntaisen uloskäytävän kautta. Uloskäytävät sijoittuvat pysäköintilaitoksen kumpaankin päättyyn. Ajo pysäköintilaitokseen tapahtuu maanpinnalta alas johtavan ajoyhteyden kautta, johon liittyy myös muita tiloja. Tästä syystä ajoyhteys on esitetty osastoiduksi, eikä sitä ole huomioitu tässä tarkastelussa. Kohde on kaksikerroksinen, mutta tässä tarkastelussa keskitytään yhteen porrashuoneeseen ja palon mallintamiseen yhdessä tassa.



Kuva 4. Esimerkkikohteen pohjakuva.

Yllä olevassa kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistettu pohjakuva, jossa korostetuna tämän työn kannalta olennaiset tutkittavat alueet.

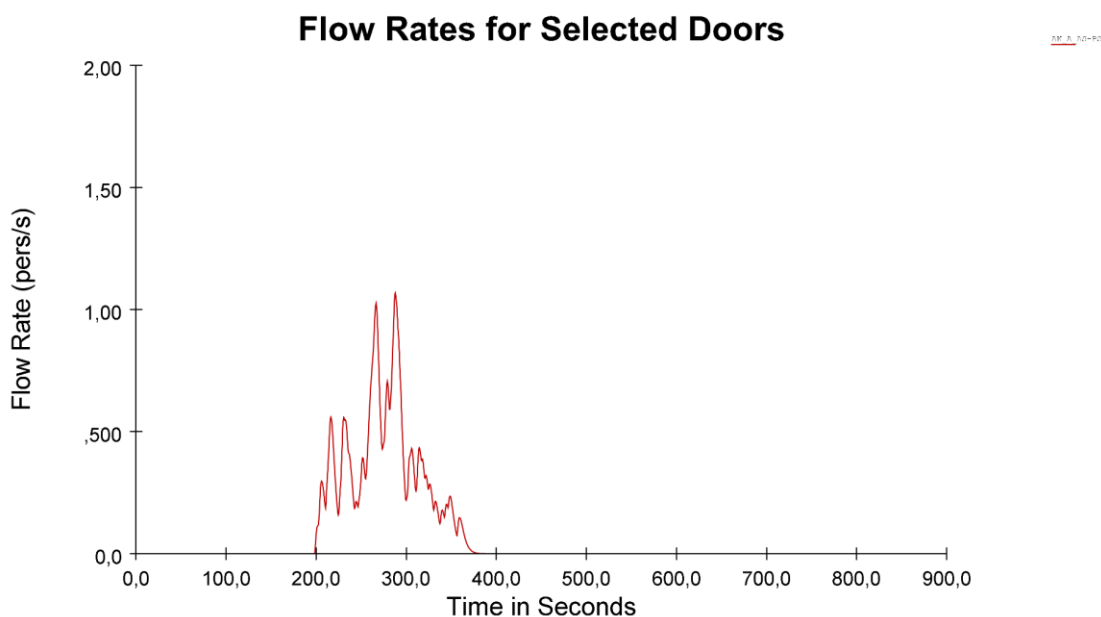
6.3 Poistumissimulointi ja poistumisaika

Poistumissimulointeja laaditaan normaalisti toiminnallisen mitoituksen kohteissa useista eri skenaarioita. Tätä työtä varten oli olennaista saada arvio siitä, miten eri ovet ovat auki poistumistilanteessa. Tämän vuoksi kohteesta laadittiin yksi poistumisskenaario, jossa tarkasteltiin henkilöiden poistumista ulos rakennuksesta. Täten saatiin luotua kuva siitä, missä vaiheessa henkilöt poistuvat kunkin oven läpi, ja tätä tietoa oli taas mahdollista käyttää palosimuloinnissa, kun mallinnettiin ovien avautumista ja sulkeutumista. Koska tarkoituksena oli vertailla eri paineistusjärjestelmiä keskenään, päätettiin tässä työssä tyytyä vain yhteen poistumissimulointiin. Työhön valittu ratkaisu mahdollistaa kuitenkin palosimulointien välillä tehtävän vertailun.

6.4 Tutkimuksessa käytettävät poistumisajat

Poistumissimulointien tuloksista on mahdollista tarkastella esimerkiksi virtausta oviaukoittain. Virtauksella tarkoitetaan tässä kohtaa sitä, kuinka paljon ihmisiä

oviaukosta kulkee tietyssä ajassa. Poistumissimuloinneissa virtauksen yksikönä käytetään henkilö/sekunnissa. Tämän perusteella voidaan päätellä, että mikäli oviaukossa on virtausta, eli ihmisiä kulkee oven läpi, tulisi oven olla myös palosimuloinneissa vastaavana ajankohtana auki. Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty esimerkin omaisesti autosuojan ja palosulun välisen oven, eli oven AS-PS, virtaukset simuloinnin aikana.



Kuva 5. Virtaus oviaukossa AS-PS. Kuvakaappaus Pathfinder-ohjelmiston tuloksista.

Kuvan 5 mukaisesti oviaukossa tapahtuu virtausta aikavälillä 197–375 sekuntia. Tämän kuvan perusteella voidaan todeta, että oven pitäisi olla avoinna myös palosimuloinneissa saman ajanhetken ajan.

Poistumissimuloinnin perusteella päädyttiin sivulla 19 esitetyn taulukon 1 mukaisiin ovien aukioloaikoihin.

Taulukko 1. Ovien ohjaustieto palosimulointeja varten.

Oven tunnus	Oven sijainti	Ovi aukeaa ajassa [s]	Ovi sulkeutuu ajassa [s]	Aukiolo-aika [s]
AS-PS	Autosuojaan ja palosulun välinen ovi	197	375	178
AS-TUUBI	Autosuojaan ja vaakasuuntaisen uloskäytävän välinen ovi	206	355	149
TUUBI-PS	Vaakasuuntaisen uloskäytävän ja palosulun välinen ovi	258	445	187
PS-PRSH	Palosulun ja porrashuoneen välinen ovi	202	462	260
PRSH-US	Porrashuoneen ulko-ovi	300	756	456

Taulukon 1 mukaisesti pisimpään auki on porrashuoneen ulko-ovi. Tämä on loogista siksi, että henkilöt liikkuvat erityisesti portaissa ylöspäin kuljettaessa huomattavasti eri nopeutta toisiinsa verrattuna, jolloin nopeasti liikkuvat henkilöt saavuttavat ulko-oven paljon nopeammin kuin hitaammin liikkuvat henkilöt.

Esimerkiksi porrashuoneen ulko-oven tapauksessa olisi simulointien perusteella todennäköisesti tilanteita, joissa ovi ehtisi välillä menemään myös kokonaan tai osittain kiinni ennen kuin taas seuraava henkilö avaisi sen. Kuitenkin simuloinnin kannalta tämä nähtiin merkityksettömäksi ja tästä syystä päädyttiin mallin luonnissa yksinkertaistukseen. Malliin ovella annettiin siis vaihtoehto olla joko kokonaan auki tai kokonaan kiinni, ja nämä ajat perustuivat taulukon 1 tuloksiin.

Simuloinneissa haluttiin lisäksi tarkastella myös mahdollista pelastuslaitoksen toimintaedellytystä. Tästä syystä päädyttiin avaamaan simuloinnin loppuvaiheessa sammutusreitillä käytettäviä ovia vielä sivun 20 taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Ovien ohjaustieto simuloinnin loppuvaiheessa kuvaamaan sammuttajien kulkua ovissa.

Oven tunnus	Oven sijainti	Ovi aukeaa ajassa [s]	Ovi sulkeutuu ajassa [s]	Aukiolo-aika [s]
PRSH-US	Porrashuoneen ulko-ovi	900	1 020	120
PS-PRSH	Palosulun ja porrashuoneen välinen ovi	990	1 020	30
AS-PS	Autosuojaan ja palosulun välinen ovi	1 020	1 080	60

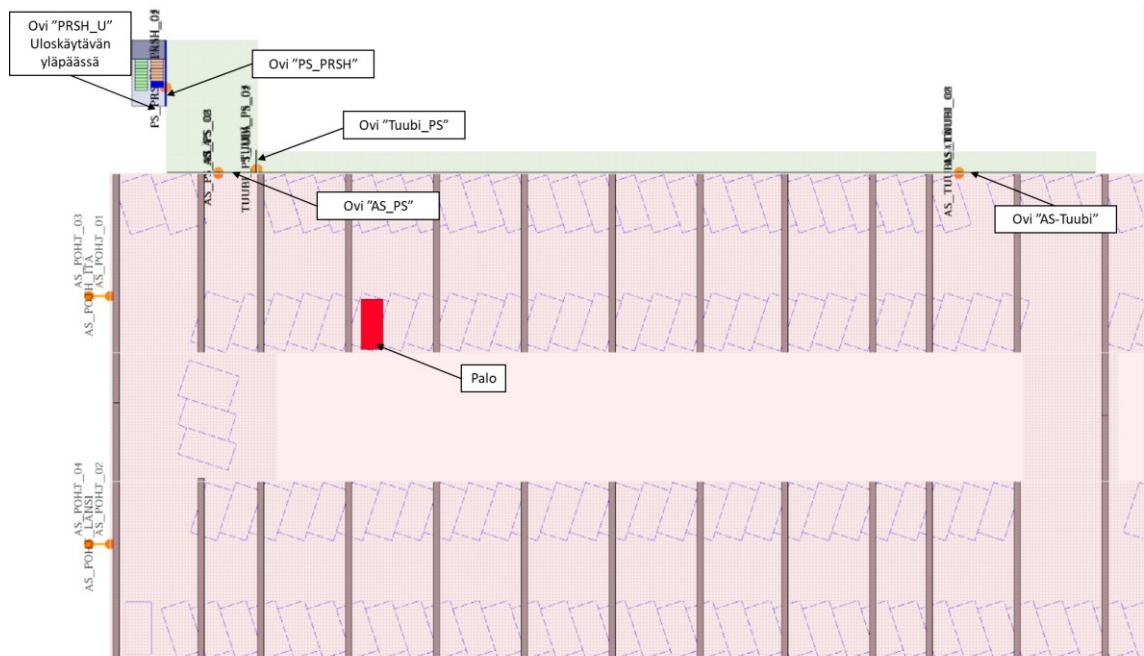
Taulukon 2 arvot valittiin lähinnä kuvaamaan sitä, että ovia avataan myös siinä vaiheessa, kun sammutustyötä lähdetään tekemään. Pelastuslaitoksen oletettu toimintavalmiusaika oli tässä tarkastelussa noin 15 minuuttia palon syttymisestä, mutta tämä tulee tarkastella aina kohdekohtaisesti. Tällöin ulko-oven oletetaan avautuvan uudelleen ajassa 900 sekuntia, ja ovi saattaa olla auki jonkin aikaa, kun oven kautta kuljetetaan sammutustoiminnassa käytettävää kalustoa. Ovien uudelleen avautuminen myös poistumisen päätyttyä on kuitenkin oletettava tapahtuma, jonka vuoksi siitäkin tehtiin jokin arvio tätä työtä varten. Palon sijainnin vuoksi vaakasuuntaisen uloskäytävän ovien uudelleen avaamista ei tämän tarkastelun puitteissa nähty tarpeelliseksi.

6.5 Palosimulointi ja olosuhteet uloskäytävässä

Palosimuloinnilla haluttiin tutkia oletetun palonkehityksen vaikutusta uloskäytävässä esiintyviin olosuhteisiin. Tässä tarkastelussa ei ollutkaan tavoitteena tutkia itse autosuojaan palo-osaston olosuhteita, vaan tarkastelu rajattiin uloskäytäviin. Autosuoja huomioitiin kuitenkin palosimuloinnin mallissa, koska siellä muodostuvat olosuhteet vaikuttavat uloskäytävien olosuhteisiin.

Uloskäytävät muodostuivat tässä tarkastelussa käytännössä kolmesta eri palo-osastosta, eli pystysuuntaisen liikkumisen mahdollistavasta porrashuoneesta, porrashuoneen ja autosuojaan erottavasta palosulkutilasta sekä vaakasuunta-

sesta uloskäytävästä. Vaikka nämä tilat onkin muodostettu omiksi palo-osastokseen, on niiden välillä kuitenkin tosiasiallisesti jonkinlaisia vuotoja. Vuotojen lisäksi palo-osastojen rajat avautuvat aina sitä mukaan, kun ihmiset poistuvat osastovien ovien läpi, kuten aiemmin jo esitettiin.



Kuva 6. Ovien sijainti ja nimeäminen mallissa.

Kuvassa 6 on esitetty ovien sijainnit sekä niiden nimeäminen mallissa. Ovien ohjaus eli avautuminen mallinnettiin taulukkojen 1 (sivu 19) ja 2 (sivu 20) perusteella. Kuvassa on myös nähtävissä oviaukkojen yhteyteen esitettyjä vuotoja, joita on käsitelty tarkemmin kappaleessa 7.4.2.

Uloskäytävien osalta tässä työssä oli tarkoitus tarkastella olosuhteita muun muassa näkyvyyden, lämpötilan ja FED-arvojen kautta, ja täten pyrkiä löytämään sellainen ratkaisu, jolla savun leviämistä uloskäytävään voidaan minimoida. Lisäksi tulosten tulkintaa varten tarkastellaan virtauksia tiloissa. Varsinaisen kohteen toiminnallisessa mitoituksessa olisi tärkeää myös tutkia olosuhteita verrattuna hankkeen hyväksymiskriteereihin. Absoluuttisia hyväksymiskriteereitä ei

kuitenkaan tässä tarkastelussa määritelty. Työn tarkoitus oli enemmänkin vertailla eri skenaarioita keskenään ja tutkia, miten eri tavoin mallinnetut lähtöarvot vaikuttavat lopputuloksiin.

7 Palosimulointimalli

Esimerkkirakennuksena toimineen pysäköintihallin pohjalta luotiin 3D-geometria, jossa paloa ja sen olosuhteita mallinnettiin. Vaikka kohteessa on kaksi porrashuonetta, päädyttiin tässä työssä tarkastelemaan näistä vain toista. Geometrialtaan porrashuoneet ovat hyvin samankaltaiset, jolloin työn kannalta nähtiin järkeväksi tutkia paloa lähimmän porrashuoneen eli uloskäytävän ja tähän liittyvien tilojen olosuhteita. Varsinainen tulipalo sijoitettiin siten, että sen etäisyys lähimmästä uloskäytävän ovesta oli noin 20 metriä. Laskentaa varten mallinnettiin koko autosuojan alempi kerros, sekä aiemmin kuvatut porrashuone, palosulkutila sekä vaakasuuntainen uloskäytävä.

7.1 Käytetty geometria

Kuten aiemmin on esitetty, FDS on virtauslaskentaan perustuva kenttämalliohjelma. Laskentaa varten geometria jaetaan soluihin tai laskentakoppeihin. FDS-ratkaisija laskee esimerkiksi lämpötilaa, kaasujen virtausnopeutta ja pitoisuuksia näiden laskentakoppien tarkkuudella [17]. Palosimulointia varten mallinnettu geometria jaettiin autosuojan osalta 30 cm soluihin ja uloskäytävien osalta 15 cm soluihin. Laskentaverkkona käytettiin tasavälistä karteesisista hilaa, jossa jakoväli jokaiseen suuntaan oli sama. Mitä pienempää solukokoa käytetään, sitä tarkemmin laskenta saadaan suoritettua. Mallin olennaisten osien pinta-alat, tilavuudet ja solumäärät on kuvattu sivulla 23 esitettyyn taulukkoon 3.

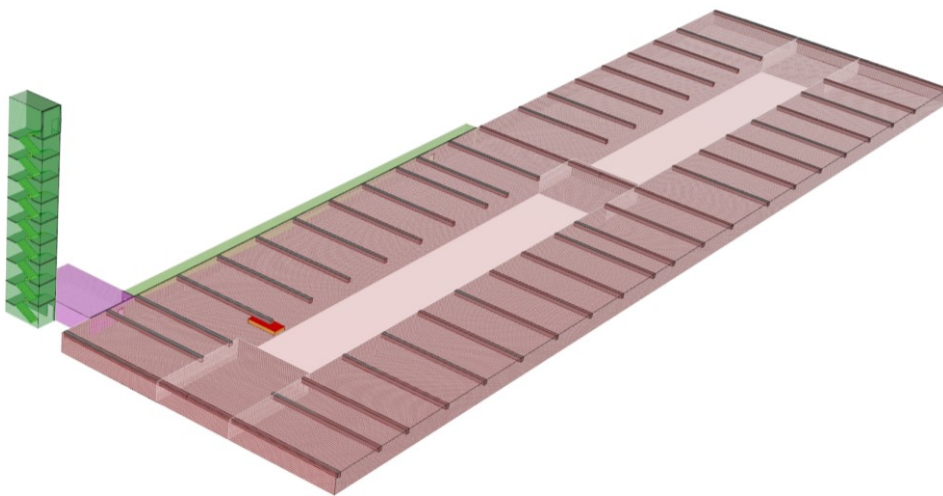
Taulukko 3. Eri osien mallinnetut geometriat.

Tila	Pinta-ala [m ²]	Tilavuus [m ³]	Solumäärä
Autosuoja	6 268,4	18 805	696 490
Porrashuone	20,8	667	197 736
Palosulku	110,9	333	98 600
Vaakasuuntainen uloskäytävä	168,2	505	149 520

Suurten mallien tapauksessa on tyypillistä, että mallissa käytetään eri kokoisia soluja eri paikoissa. Tyypillisesti siellä, missä oletetaan tapahtuvan laskennan kannalta mielenkiintoisia asioita, valitaan solukoko mahdollisimman pieneksi ja vastaavasti vähemmän kiinnostavilla alueilla solukokoa voidaan suurentaa. Solumäärä on olennaisesti laskennan pituuteen vaikuttava valinta, joka tulee tehdä simulointien aikana.

Malliin ei ole lisätty tilavuutta sen ulkoseinien ulkopuolelle, pois lukien porrashuoneen ulko-oven edessä ollutta pientä tilaa, joka sisältyy taulukon 3 tilavuuksiin. Mallituksessa tilat mallinnettiin täysin tyhjinä, mutta mallissa on huomioitu autosuojan palkit sekä porrashuoneessa portaiden askelmat ja lepotasanteet.

Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty kuvakaappaus Pyrosim-ohjelmasta.



Kuva 7. Mallinnettu geometria, jossa eri värein kuvattu eri palo-osastot.

Kuvassa 7 on esitetty tumman vihreällä värillä porrashuoneen palo-osasto, magentalla palosulun palo-osasto, vaalean vihreällä vaakasuuntaisen uloskäytävän palo-osasto ja punaisella itse autosuojan palo-osasto. Jokaisen tilan välillä on yksi ovi, joka on mallissa 1,2 m leveä ja 2,1 metriä korkea reikä, jonka avautumista on mahdollista säädellä simuloinneissa.

Mallin ulkoreuna kuvasi tässä tapauksessa myös hallin rakenteita. Kaikki rakenteet mallitettiin betonisina rakenteina ja niiden paksuudeksi annettiin 300 mm. FDS:ssä rakenteiden lämmönsiirron osalta pystytään erottamaan itse mallissa fyysisen esteen luova rakenne ja rakenteen lämmönsiirto-ominaisuudet. Toisin sanottuna lämmönsiirto-ominaisuudet eivät ole riippuvaisia siitä, kuinka suurella solukoolla rakenteet on malliin fyysisesti esitetty. Betonirakenteiden tiheytenä käytettiin 2280 kg/m^3 , ominaislämpökapasiteettina $1,04 \text{ kJ/kgK}$ ja lämmönjohtavuutena $1,8 \text{ W/mK}$. Betonin ominaisuudet perustuvat Pyrosim:in materiaalikirjastoon.

7.2 Ympäristön olosuhteet

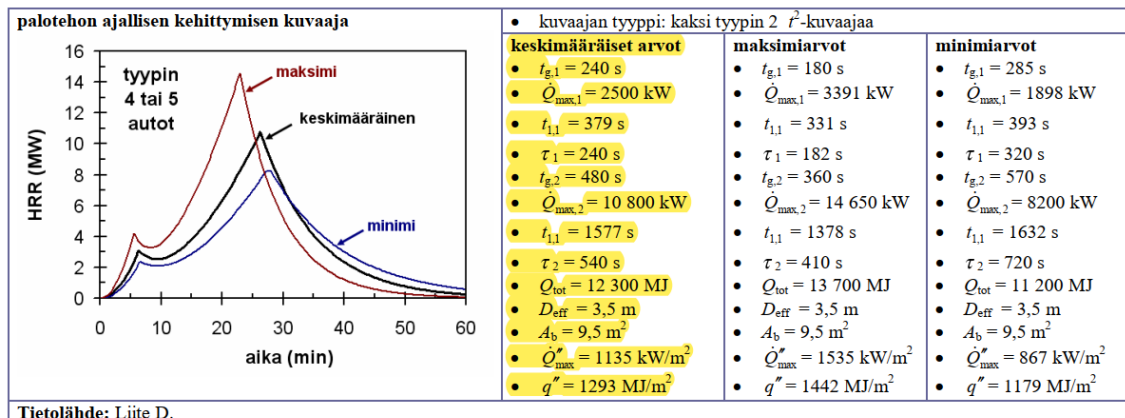
Kuten aiemmin esitettiin, varsinaista ulkotilaa ei malliin rakennettu, jolloin erikseen ei tarvinnut määritellä ympäristön olosuhteita esimerkiksi tuulen osalta. Ympäristön ja simuloinnin alkulämpötilaksi valittiin $+12 \text{ °C}$. Ilmanpaineena käytettiin normaalia $101\,325 \text{ Pa}$:n painetta ja ilman suhteellinen kosteus jätettiin vakioarvoon 40% . Rakennus mallinnettiin geometrian suhteen siten, että sen pohja oli tasossa -25 m , kun maanpinnan oletettiin olevan merenpinnan tasosta $+3 \text{ metriä}$.

Porrashuoneen ulko-oven eteen mallinnettiin pieni alue, josta solualueen rajat avattiin ulkoilmaan käyttämällä solualueen reunaehtona FDS:n OPEN-rajapintaa. Tämä mahdollisti porrashuoneen ulko-oven avautuessa ilman virtaamisen porrashuoneeseen tai sieltä pois, muodostuvien paineolosuhteiden mukaisesti.

7.3 Mitoituspalo

Mitoituspalon valinta on olennainen lähtöarvon määrittely kaikessa toiminnallisessa mitoituksessa. Eri palotapahtumia on tutkittu alalla laajasti ja niistä on saatavilla paljon tietoa esimerkiksi palon kehittymisnopeuden ja maksimipalotehon suhteen. Suomessa on usein käytetty mitoituspalojen valinnassa Hietaniemen koostamaa *Palon voimakkuuden kuvaaminen paloteknisessä suunnittelussa* -raportti [18]. Tämä raportti on ollut osa VTT:n toiminnallisen palosuunnittelun nettisivujen kokonaisuutta ja sen tarkoituksena on ollut koostaa yhteen kirjallisuudessa esitettyjä koetuloksia ja helpottaa tätä kautta toiminnallisen paloteknisen suunnittelun toteuttamista.

Hietaniemen raportissa on annettu esimerkkejä eri autopalojen palotehojen ajallisista kuvaajista. Tätä työtä varten on päätetty valita tyyppin 4 tai 5 henkilöauto ja sen keskimääräisten arvojen mukainen palotehon kehittyminen. Tässä tapauksessa palotehon maksimi on 10 800 kW ja paloteho pinta-alaa kohden enimmillään 1 135 kW/m². Lämpöä 60 minuutin palon aikana vapautuu 12 300 MJ. [18, s. 71]



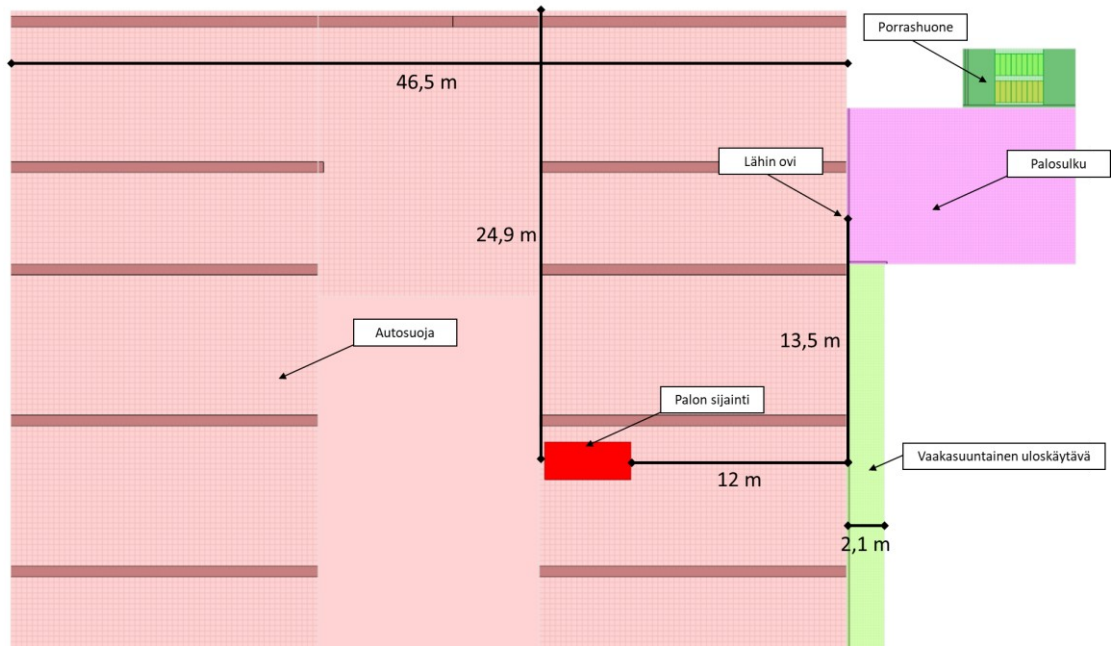
Kuva 8. Palotehon ajallinen kehittyminen tyyppin 4 tai 5 keskimääräiselle henkilöautolle Hietaniemen *Palon voimakkuuden kuvaaminen paloteknisessä suunnittelussa* mukaisesti [18, s. 71].

Kuvassa 8 on esitetty tässä työssä käytetty palon kehittyminen ja käyrän muodostamisessa käytetyt arvot. Palo muodostettiin simulointimalliin niin sanotun

polttimallin mukaisesti. Tässä mallissa FDS-ohjelmisto syöttää malliin paloteho-käyrän mukaisesti vastaavan määrän polttoainetta. Ympäristön olosuhteet eivät siis vaikuta palon voimakkuuteen. [6, s. 98]

Sammutuslaitteiston, eli tyypillisesti sprinklerin, toiminta otetaan usein huomioon toiminnallisessa palomitoituksessa. Sprinklerin toiminta voidaan ottaa huomioon usealla eri tavalla. Yksinkertaisimpana tapana on yleensä keskeyttää mitoituspalon palotehon kasvu, kun tilan kuuman kerroksen lämpötila palon yläpuolella nousee sprinklereiden laukeamista vastaavalle tasolle [18, s. 135]. Konservatiivisella mitoituksella voidaan esimerkiksi antaa palotehon kaksinkertaistua siitä, mitä se on sprinklereiden laukeamishetkellä, ja tämän jälkeen vakioida paloteho. Tässä työssä päätettiin kuitenkin, että paloteho mallinnetaan kuitenkin tilassa ei olisi sprinklereitä, mutta kuitenkin siten, että palon oletetaan rajoittuvan ainoastaan yhteen ajoneuvoon.

Esitetyllä valinnalla sprinklerin suhteen ei näiden simulointien osalta ole oletettavasti kovin suurta merkitystä, koska tarkoituksena on tutkia eri skenaarioiden välisiä olosuhteita, eikä niinkään verrata poistumissimuloinnin tuloksia palosimulointiin, ja tätä kautta arvioida tulosten tai ratkaisun hyväksyttävyyttä. Lisäksi on huomioitava, että paloteho ei ehdi saavuttamaan huipputehoaan ennen simulointijakson loppua. Koska tarkoituksena on tarkastella olosuhteita poistumisen aikana ja sammutustoiminnan alussa, valittiin simulointijakson pituudeksi näissä laskennoissa 1 200 sekuntia, eli 20 minuuttia. Simulointijakson pituutta ja yhden auton palon valintaa voidaan perustella myös sillä, että poistuminen ehtii valitussa ajanjaksossa tapahtumaan ja tämän työn kannalta kiinnostavimmat tapahtumat liittyvät kuitenkin palon alkuvaiheeseen ja siihen liittyviin ilmiöihin.



Kuva 9. Kuva simulointimallista, jossa esitettynä palon sijainti suhteessa lähimpään uloskäytävään johtavaan oveen.

Kuvassa 9 on esitetty palon sijoittuminen mallissa. Palon vasemmalla puolella on kalliokannas, eli palo vaikuttaa jo heti alussa voimakkaasti lähimpään uloskäytävään, koska palokaasut käytännössä kulkeutuvat kuvasuunnassa ylös, alas ja oikealle.

7.3.1 Hiilimonoksidi ja noen tuotto

Paloreaktioiden hiilimonoksidin ja noen tuotto riippuvat merkittävästi siitä, mikä materiaali palaa, ja minkälaisissa olosuhteissa palaminen tapahtuu. Muodostuvan hiilimonoksidin määrään vaikuttaa olennaisesti palon käytettävissä oleva hapen määrä. Oletettavasti palon alkuvaiheessa happea on saatavilla runsaasti, jolloin hiilimonoksidin tuotto on pienempää, kun taas palon edetessä palo voi muodostua happirajoitteiseksi, jolloin hiilimonoksidin tuotto on korkeampaa. Toisaalta taas noen tuotto on vähäisempää, mitä korkeammassa lämpötilassa ja happirikkaammassa tilassa palo tapahtuu. Noen tuotto palon alkuvaiheessa voi

lämpötilan alhaisuuden vuoksi olla täten korkeampaa kuin myöhemmin palon aikana. Kuitenkin tilan happipitoisuudella on vaikutusta myös noen muodostumiseen. [19]

Käytetyllä mallinnustavalla FDS-ohjelma ei laske palotilan olosuhteiden vaikutusta hiilimonoksidin ja noen tuottoon, vaan nämä tulisi määritellä yhdessä palo-reaktion kanssa suhteessa polttoaineen massaan. Toisin sanottuna hiilimonoksidin ja noen tuotolle voidaan antaa vakioarvot, joiden kautta polttoaineen tuoton vaihtelun mukaan muuttuu myös muodostuvat hiilimonoksidin ja noen määrät.

Kirjallisuudessa on esitetty molemmille palotuotteille hyvin vaihtelevia arvoja. Esimerkiksi Uudessa-Seelannissa Robbins ja Wade ovat tutkineet noen tuottoa palon mallintamisessa julkaisussaan *Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies* [20]. Kyseisen julkaisun kirjallisuuskatsauksessa on esitetty, että materiaalista riippuen noentuottoarvo voi esimerkiksi puulle olla $0,015 \text{ kg}_{\text{nokea}}/\text{kg}_{\text{poltto-ainetta}}$, kun taas esimerkiksi PVC:llä vastaava arvo voisi olla jopa $0,140 \text{ kg}_{\text{nokea}}/\text{kg}_{\text{poltto-ainetta}}$ [20, s. 4-5]. Käytännössä näiden vakioarvojen valinnassa joudutaan tekemään jonkin näköinen asiantuntija-arvio siitä, mikä kuvastaisi parhaalla mahdollisella tavalla mallissa todellisuutta.

Tässä tapauksessa ollaan simuloimassa ajoneuvon paloa, jolloin paloon osallistuu todennäköisesti myös paljon muovipohjaisia materiaaleja, jotka usein tuottavat ainakin runsaasti savua ja nokea. Toisaalta palo-osaston suuren tilavuuden vuoksi palon ei oleteta kovin nopeasti muodostuvan happirajoitteiseksi. Koska kuitenkin tarkoituksena on, kuten aiemminkin mainittu, vertailla eri järjestelmiä keskenään, olennaisinta on käyttää kaikissa laskelmissa samoja arvoja. Tässä tapauksessa noen tuottoarvoksi on päädytty käyttämään arvoa $0,07 \text{ kg}_{\text{nokea}}/\text{kg}_{\text{poltto-ainetta}}$, kuten Robbins ja Wade johtopäätöksissään suosittavat [20, s. 39]. Vastaavasti hiilimonoksidin tuottoarvoksi valittiin $0,06 \text{ kg}_{\text{nokea}}/\text{kg}_{\text{poltto-ainetta}}$. Molempia arvoja on nähnyt käytettävän myös muiden vastaavien kohteiden toiminnallisen mitoituksen raporteissa, joten tämän perusteella on todettu käytettävän niitä myös tässä työssä.

7.4 Vuodot

Rakennuksen rakenteet eivät koskaan ole täysin tiiviitä, edes silloin, kun ne toteuttavat palo-osastointia. Tässä työssä tunnistettiin vuotojen tarkastelun osalta kolme sellaista kohtaa, jotka pyrittiin tuomaan mukaan malliin mahdollisimman hyvin. Tunnistettuja vuotokohteita olivat:

- rakennuksen vaippa
- palo-osastoivat ovet
- ilmanvaihtojärjestelmä.

7.4.1 Vaipan vuodot

Ensimmäisenä vuotokohteena tunnistettiin rakenteet kokonaisuutena. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) tunnistaa tilojen vuotoilman rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavana tekijänä ja antaa laskentakaavan rakennusvaipan vuotoilmavirran laskentaan [21]. Kalliotilojen osalta vuotoilmavirtaa on haastavaa arvioida, mutta koska tiloista on kuitenkin yhteyksiä maanpinnalle, eikä kalliokaan ole täysin tiivis, todettiin tämä yhdeksi olennaiseksi vuodoksi, joka tulisi huomioida myös simuloinneissa.

Vuotoilma on mahdollista laskea tarkasti, mikäli tunnettaisiin rakennusvaipan ilmanvuotoluku. Koska tätä ei kuitenkaan ollut tiedossa, valittiin ilmanvuotoluvun arvoksi tiiviin rakennuksen vuotoilman arvo $1 \text{ m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$. Arvon valinta perustuu siihen, että esimerkiksi Vertia Oy mainostaa internetsivuillaan mitattujen uusien pientalojen ilmanvuotoluvun osuvan pääsääntöisesti välille $0,5\text{-}1,4 \text{ m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$ [22].

FDS ei kuitenkaan suoraan mahdollista ilmanvuotoluvun määrittelyä rakenteille, mutta käyttämällä ohjelmiston ZONE-mallia jokaiselle palo-osastolle on mahdollista määritellä yleisesti vuotoilma-aukot, jotka voivat aueta joko eri palo-osastojen välillä tai suoraan ulkoilmaan. Tämä toteutustapa on tämän tyyppisessä kohteessa parempi kuin ratkaisu, jossa vuodot toteutettaisiin pieninä yksittäisinä

hilajakoon sopivina aukkoina. Yksittäisen pienen aukon virtaus voisi muuttaa huomattavasti tilan olosuhteita muun muassa virtausten vuoksi, jolloin globaali mallinnustapa vuotojen osalta on tässä mallissa parempi toteutustapa.

Paineistusta käsittelevässä standardissa SFS-EN 12101-6 on esitetty vuotojen laskenta oviaukoille kaavan 1 mukaisesti [12, s. 85].

$$Q_D = 0,83 \times A_e \times P^{1/R} \quad (1)$$

missä Q_D on vuotoilman määrä [m^3/s]
 A_E on aukon koko
 P on paine-ero [Pa]
 R on vakio 1,6 (kapeille aukoille)

Kaavan 1 avulla on mahdollista ratkaista A_E ja sen perusteella määritellä vuodot FDS:ään eri tiloille. Alla olevaan taulukkoon 4 on esitetty laskennassa käytetyt vuodot.

Taulukko 4. Palosimulointiin määritellyt vuodot palo-osastoittain.

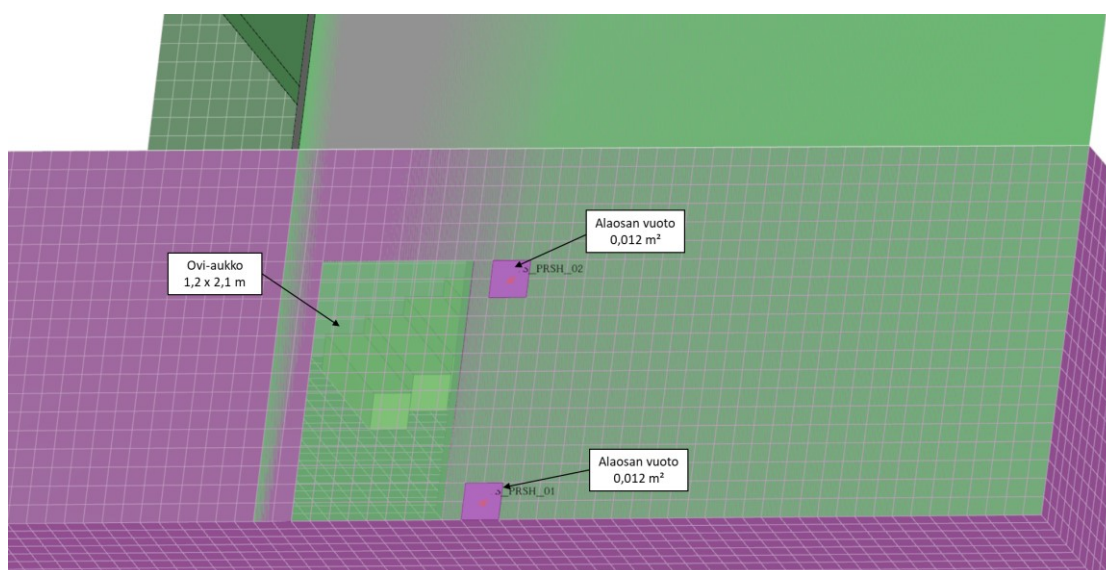
Palo-osasto	Vuotoaukon koko [cm^2]
Autosuoja	3 760
Palosulku	50
Vaakasuuntainen uloskäytävä	188
Porrashuone	190

7.4.2 Palo-ovien vuodot

Globaalien vuotojen lisäksi tunnistettiin, että erityisesti ovien kohdalla on todennäköistä, että paine-erojen vuoksi ilma liikkuu tilojen välillä. Ovien kohdalla päädyttiin toteuttamaan vuodot käyttäen FDS:n ilmanvaihtolaitteistoille tarkoitettua mallinnustapaa, joka FDS:ssä tunnetaan HVAC-laskentana. Tällä tavalla oven

ylä- ja alareunan tasolle oli mahdollista mallintaa vuodot ilman, että vuodon tarvitsi olla vähintään yhden solun kokoinen aukko seinässä.

Tässä tapauksessa vuotoa varten mallinnettiin kummallekin puolelle seinää ikään kuin päätelaitteet, jotka sitten yhdistettiin kanavalla. Kanavan kooksi asetettiin laskennassa $0,012 \text{ m}^2$ ja samaa kokoa käytettiin sekä oven ylä- että alareunassa. Tällöin jokaisen oven kohdalle muodostui $0,024 \text{ m}^2$ vuotopintaa tilojen välille.



Kuva 10. Esimerkki vuotojen sijoittelusta mallissa.

Kuvassa 10 on esitetty vuotojen sijoittuminen mallissa suhteessa oviaukkoihin. Tässä kuvassa on näytetty palosulun ja porrashuoneen välinen oviaukko ja tämän viereiset vuodot. Vuodot on jouduttu mallinnusteknisistä syistä sijoittamaan hieman oven viereen. Koska oviaukko muodostetaan reikänä seinärakenteeseen, ei ohjelma mahdollista vuodon sijoittamista täysin samaan kohtaan.

7.4.3 Ilmanvaihtojärjestelmän vuodot

Aiemmin tässä työssä tunnistettiin, että ilmanvaihtojärjestelmällä voi olla hyvin suuri merkitys paineen nousuun eri palotilanteissa, erityisesti, kun tarkastel-

laan pienessä tilavuudessa tapahtuvia palotilanteita. Tässä tarkastelussa autosuojan palo-osasto on kooltaan suuri, sen tilavuuden ollessa noin 18 800 m³. Lisäksi autosuojaan on suunniteltu savunpoistojärjestelmä, joka on mahdollista toteuttaa myös automaattisena savunpoistojärjestelmänä. Toisin sanottuna ennen palon alkua tilassa olisi oletettavasti ilmanvaihto käynnissä, mutta paloilmittimen reagoinnin jälkeen ilmanvaihto pysähtyisi ja savunpoisto käynnistyisi poistamaan tilassa syntyvää savua.

Erityisesti järjestelmän ohjausten monimutkaisuuden ja mallinnetun tilan suuren tilavuuden vuoksi tässä tapauksessa päätettiin autosuojan ilmanvaihto jättää mallintamatta. Tätä kompensoimaan malliin kuitenkin lisättiin tulo- ja poistoaukkoja kuvaavat vuodot samalla tavalla kuin toimittiin ovien kohdalla. Näissä kohdin kuitenkin käytettiin huomattavasti suurempia virtausreittejä kuin ovien kohdalla. Ilmanvaihtojärjestelmän vuotoja kuvaamaan mallinnettiin hallin kumpaankin päähän 2 kpl HVAC-päätelaitteita, jotka yhdistettiin ulkoilmaan 1,2 metrin halkaisijaltaan olevilla pyöreillä kanavilla. Näille kanaville määriteltiin malliin 100 Pascalin virtausvastus. Kanavistoihin ei kuitenkaan mallinnettu puhaltimia, eli ilmavirtaus niiden kautta tapahtuu paine-erojen avulla, jolloin ne voivat joko tuoda malliin raitista ilmaa ulkotilasta tai toisaalta toimia myös palon aiheuttaman paineen nousun myötä poistokanavistoina.

7.5 Mittauspisteiden sijoittelu

Mallista on tulosten tarkastelua varten mahdollista saada leikkauksen muodossa esitetyjä kuvia, jotka esittävät mitattavaa suuretta väriasteikolla. Tämä on visuaalinen tapa vertailla esimerkiksi näkyvyyden heikkenemistä, koska eri skenaarioista on mahdollista ottaa samalta ajanhetkeltä ja samasta kohdasta toisiaan vastaavat leikkaukset ja näitä vertailemalla voi tehdä johtopäätöksiä siitä, kumpi tulos on parempi. Lisäksi FDS mahdollistaa pistemäisten mittareiden sijoittamista malliin, jolloin mittauspiste esittää aina kyseisellä ajan hetkellä mitattavan solun suureen tarkan laskennallisen arvon.

Leikkauksia varten malliin asetettiin mittalinjoja runsaasti esimerkiksi porrashuoneeseen, vaakasuuntaiseen uloskäytävään sekä ovien kohdalle. Lisäksi näitä asetettiin Z-suuntaan, eli tällöin näistä on mahdollista tarkastella kohdetta yläpuolelta katsottuna kokonaisuutena. Tuloksissa on tarkemmin esitetty näitä leikkauksia ja niiden tuloksia.

Paikallisia mittauspisteitä mallinnettiin kunkin oven molemmin puolin. Mittauspisteiden korkoasemaksi valittiin 1,0 ja 1,9 metriä lattiatason yläpuolella. Autosuojan puolella mittaus kertoo siis tilanteen soluista, jotka ovat 0,9–1,2 metrin ja 1,8–2,1 metrin korkeudella lattiatasosta. Vastaavasti muualla, missä solukoko on pienempi, mittauspisteiden tilanteet vastaavat soluja 1,05–1,2 metriä ja 1,8–1,95 metriä. Mittauskorkeudet on valittu olosuhteiden arvioimiseksi suhteessa poistumisturvallisuuteen. Paikallisilla mittauspisteillä mitattiin simuloinneista näkyvyyttä, lämpötilaa, FED-arvoja sekä painetta.

Edellä mainittujen mittareiden lisäksi kaikkiin paikallisiin vuotoihin sekä puhaltimien kanavistoihin asetettiin tilavuusvirtaa mittaavat mittauspisteet. Näiden tarkoituksena on auttaa tulosten tarkasteluvaiheessa paikallistamaan niitä kohtia, joissa joko tapahtui vuotoja epätoivottuun suuntaan tai toisaalta niiden avulla voi tarkastella, mikä olisi oikea paineistusilmamäärä, jotta vuotoja ei pääsisi tapahtumaan.

Mittauspisteiden tarkempi sijoittelu ja nimeäminen on esitetty liitteessä 2.

8 Tarkasteltavat suunnitteluratkaisut

Tarkasteltavia suunnitteluratkaisuja varten valittiin sellaisia skenaarioita, jotka olisivat toteuttamiskelpoisia, mutta kuitenkin toisistaan riittävän erilaisia, jotta skenaarioiden välillä voitaisiin löytää eroavaisuuksia. Työn perimmäisenä tarkoituksena oli tutkia, onko vakioitu standardin mukainen mitoitustapa paras ratkaisumalli, vai voisiko yhtä hyvään tai jopa parempaan ratkaisuun poistumisturvallisuuden osalta päästä mitoittamalla uloskäytävän paineistusjärjestelmää toiminnallisesti palomitoituksen keinoin.

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu eri tarkasteltavien tapausten eli skenaarioiden väliset muuttujat. Yhteistä kaikille skenaarioille oli kuitenkin se, että vuodot ja ovien avautumiset olivat kaikissa samanlaiset. Muuttuvina tekijöinä oli käytännössä ainoastaan paineistuksen ilmamäärä ja tämän paineistusilman jakotapa uloskäytäviin.

Kaikissa skenaarioissa puhallin mallinnettiin kanavaan vakioilavuusvirran puhaltimena. Paineistus aktivoitui heti simuloinnin alussa, eli erillistä paloilmoituksen ohjausta ei tässä mallissa huomioitu paineistuspuhaltimille. Puhaltimen käyntiä ohjattiin paineanturilla, joka sijaitsi palosulussa. Tavoitteena oli pitää paine alle 50 Pascalin, joka on standardin mukainen paineistuksen enimmäismäärä. Tämä mahdollistaa vielä ovien avaamisen, ilman liian suurta vaadittavaa voimaa.

8.1 Lähtötilanne pelkillä vuodoilla ja ovien avautumisilla

Vertailun mahdollistamiseksi ensimmäiseksi mallinnettiin skenaario, jossa uloskäytäviin ei toteutettu minkäänlaista paineistusjärjestelmää tai savunpoistoa. Tämän skenaarion tarkoituksena oli ainoastaan tutkia, minkälaisiksi olosuhteet uloskäytävissä muodostuisivat palotilanteen aikana, jos savukaasujen leviämistä ei yritettäisi teknisin keinoin estää. Tämä ratkaisu on siis tyypillinen maanalaisten tilojen uloskäytävien ratkaisu. Ratkaisu luottaa passiiviseen paloturvallisuuteen, eli käytännössä osastointiin siinä, etteivät savukaasut leviä uloskäytäviin. Uloskäytävälle on määräyksissä esitetty vaatimuksia savunpoiston osalta, mutta savunpoisto ei itsessään paranna poistumisen aikaisia olosuhteita uloskäytävissä, vaan sen tarkoitus on yleisesti toimia jälkituuletuksen mahdollistavana toimenpiteenä. Passiivisen paloturvallisuuden ratkaisu ei huomioi sitä, että poistumisen aikana uloskäytävään voi joutua savua, joka mahdollisesti estää uloskäytävän käytön. Toisaalta tästä syystä tiloista tulisi aina olla kaksi toisistaan riippumatonta uloskäytävää, jolloin on todennäköistä, että ainakin toinen säilyy käytettävänä koko poistumiseen vaaditun ajan.

Tämä skenaario ilman paineistusta toimii siis verrokkina muille skenaarioille. Tulosten esittelyssä tätä skenaariota kutsutaan nimellä skenaario 1 tai perusskenaario.

8.2 Standardin mukainen paineistusratkaisu

Paineistusratkaisuna on aiemmissa kappaleissa esitetty standardin SFS-EN 12101-6 mukaista luokan C-paineistusratkaisua. LVI-suunnitelmien mukaisesti tällöin puhaltimen ilmavirraksi on esitetty $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$, jota käytettiin myös tässä tarkastelussa.

Tarkastelua varten tutkittiin kahta eri ilmanjakotapaa. Ensimmäisessä versiossa paineistusilma jaettiin porrashuoneeseen pelkästään yläkautta, eli yksinkertaisimmalla mahdollisella tavalla. Teknisesti tämän version etuna olisi helppo asennettavuus, eikä kanavointi vaatisi ylimääräistä tilavarausta, joka osaltaan saattaisi kasvattaa porrashuoneen kokoa. Tämän ratkaisun heikkoutena voidaan pitää sitä, että paineistusilma ei välttämättä kulkeudu alas palosulkuun asti, jolloin kokonaisvaikutus uloskäytävien turvallisuuden parantamiseen voi jäädä vähäiseksi.

Toisena ratkaisuvaihtoehtona tutkittiin versiota, jossa puhaltimen ilmamäärä oli myös $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$, mutta ilma tuodaan alas kanavoituna ja jaetaan kahden pääte-laitteen kautta sekä porrashuoneen alaosaan että myös palosulun puolelle. Tämän ratkaisun etuna pidettiin ennakkoon sitä, että ilma saadaan tuotua suoraan sille alueelle, jota paineistuksella eniten yritetään suojata. Toisaalta ratkaisun heikkous taas on siinä, että $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmamäärän vaativa kanavointi vaatii tilaa, jota rakennushankkeissa harvoin on yhtään liikaa.

Tulosten vertailussa skenaariota, jossa ilmaa tuodaan $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ porrashuoneen yläpään kutsutaan skenaarioksi 2. Vastaavasti skenaariota, jossa ilmaa tuodaan yhteensä $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ porrashuoneen alapään ja palosulkuun kutsutaan skenaarioksi 3.

8.2.1 Pienennetyn ilmamäärän paineistusratkaisu

Kuten edellä esitettiin, standardin mukaisen paineistusilmamäärän johtaminen alas pysäköintilaitoksen tasolle vaatii kanavistoa varten suuren tilavarauksen. Tästä syystä haluttiin tarkastella, miten vastaava järjestelmä toimisi, mikäli ilmamääränä käytettäisiin huomattavasti standardin mitoituksen vaatimaa ilmamäärää pienempää ilmamäärää. Ratkaisua varten päädyttiin valitsemaan ilmamääräksi $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Valinta on perusteltu sillä, että esimerkiksi Fläkt Group Finland Oy valmistaa ja myy valmista porrashuoneen paineistusjärjestelmää, joka on tarkoitettu alle 8 kerroksisten asuinkerrostalojen paineistamiseen. Tämän järjestelmän ilmamäärä on $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Järjestelmä koettiin tämän työn osalta hyvänä verrokkina, koska se sisältää kaiken vaaditun ohjausjärjestelmän itsessään, jolloin se on esimerkiksi asennusteknisesti helppo valinta. [23]

Tätä ratkaisua varten mallinnettiin siis vastaavat kaksi tapausta kuin standardinmukaista paineistusjärjestelmää varten, mutta ilmamäärinä käytettiin $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sijasta $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Muutoin mallinnustapa oli samanlainen, eli toisessa versiossa ilma puhallettiin porrashuoneen yläpäähän ja toisessa versiossa se tuotiin kanavoituna sekä uloskäytävänä toimivan porrashuoneen alapäähän että palosulkuun.

Tulosten käsittelyssä skenaariota, jossa ilmaa tuodaan $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ porrashuoneen yläpäähän käsitellään skenaariona 4. Skenaarioksi 5 kutsutaan sitä skenaariota, jossa sama $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ paineistusilmamäärä on kanavoitu porrashuoneen alapäähän sekä palosulun puolelle.

8.3 Vaihtoehtoiset ratkaisut

Vaihtoehtoisena ratkaisuna haluttiin tutkia, kuinka suuri vaikutus olisi sillä, että uloskäytävien ilmanvaihto tehtäisiin huomattavan ylipaineisena. Tarkoituksena tällä ratkaisulla oli tutkia, voisiko ilmanvaihdon käyttäminen ylipaineistuksessa jatkuvasti, ilman ylimääräisiä paineohjauksia, olla toteutuskelpoinen vaihtoehto muuten kenties hieman hankalasti toteutettaville paineistusratkaisuille.

Tässä ratkaisussa päädyttiin käyttämään ilmamääränä 0,21 m³/s ja ilma jaettiin kanaviston kautta porrashuoneen alapäähän, palosulkuun sekä vaakasuuntaiseen uloskäytävään. Ilmamäärä 0,21 m³/s vastaa suunnilleen 0,5-kertaista porrashuoneen ilmanvaihtoa, eli se on lähelle sitä ilmamäärää, joka porrashuoneeseen, palosulkuun ja vaakasuuntaiseen uloskäytävään tuotaisiin myös ratkaisussa ilman paineistusta. Ilmanvaihdollisesti järjestelmä toki vaatisi myös poiston, mutta koska näissä malleissa ei ollut huomioitu ollenkaan ilmanvaihtoa, tuotiin tämä ilmamäärä pelkästään tuloilmana. Mikäli myös poisto olisi ollut mallinnettuna, olisi tuloilmamääränä käytetty tässä ratkaisussa 0,42 m³/s ilmamäärää.

Tätä skenaariota kuvataan tulosten tarkastelun yhteydessä nimellä skenaario 6.

8.4 Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelua varten haluttiin vielä tutkia yksi versio mallista, jossa palon lähellä käytettäisiin samaa solukokoa kuin mitä uloskäytävissä oli käytetty. Muissa skenaarioissa autosuojan puolella käytettiin 30 cm solukokoa, mutta tässä mallissa solukokoa pienennettiin siten, että lähellä paloa ja palosulun sekä autosuojan välistä ovea olevalla alueella koppikooksi valittiin 15 cm.

Tämän tarkastelun oletuksena oli, että mitä pienempää solukokoa käytetään, sitä hitaammin savukaasut leviävät palon läheltä ympäristöön. Tarkastelun perusmalliksi valittiin skenaarion 1 mukainen malli, eli paineistusta ei tässä ratkaisussa mallinnettu ollenkaan. Skenaarion perimmäinen tarkoitus oli tutkia, ylienustaako autosuojassa käytetty 30 cm solukoko savun leviämistä ja täten nopeuttaa savun kulkeutumista uloskäytäviin verrattuna pienemmän solukoon tilanteeseen.

Tätä skenaariota kutsutaan tulosten esittelyn yhteydessä skenaariona 7 tai herkkyystarkasteluna.

8.5 Mallintamatta jätettävät asiat

Mallin yksinkertaistamiseksi autosuojan sekä uloskäytävien ilmanvaihto jätettiin mallintamatta. Mallia luotaessa havaittiin, että mallin stabiilisuuden kannalta oli tärkeää, ettei sinne tuoda ylimääräisiä paineen vaihteluja aiheuttavia tekijöitä, mistä syystä ilmanvaihto päätettiin jättää mallintamatta. Samasta syystä malliin ei myöskään toteutettu autosuojan puolelle savunpoistoa. Savunpoiston pois jättäminen mallista ei sinänsä ole väärin, koska sen vaikutus paineistukseen on riippuvainen myös savunpoiston automaattiotasosta, joka ei tämän työn laadinnan aikana ollut tiedossa. Mikäli savunpoistoksi valikoituisi automaattinen savunpoisto, olisi sen vaikutusten tutkiminen valittuun paineistusratkaisuun yksi osa-alue paloteknistä suunnittelua. Tässä työssä kuitenkin päätettiin jättää tämä tutkimus työn ulkopuolelle, koska vertailu eri paineistusratkaisuiden välillä voidaan tehdä myös ilman savunpoiston huomiointia.

Mallintamatta jätettiin myös autosuojassa olevat mahdolliset autot. Näillä voisi olla merkitystä esimerkiksi autosuojan savunpoiston toimivuuteen, mutta merkitys paineistusratkaisuun nähtiin vähäisenä. Myös tuuli jätettiin yksinkertaistuksen vuoksi mallintamatta. Samasta syystä myöskin sammutustoiminnan muut toimenpiteet, ovien avautumisen lisäksi, jätettiin tässä työssä mallintamatta.

9 Simuloinnin tulokset

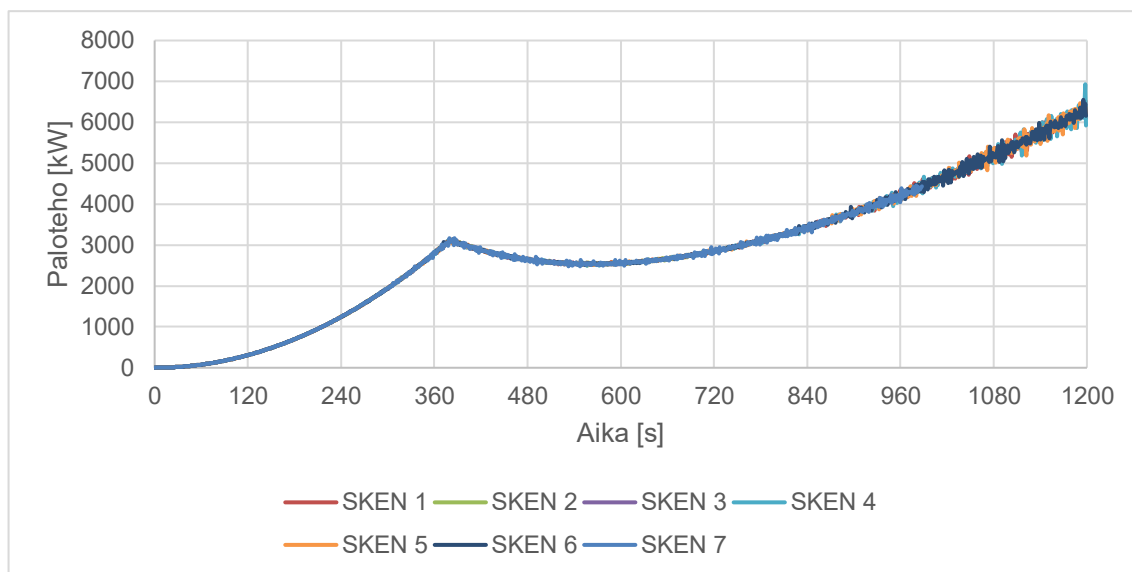
Simuloinneista saatiin kerättyä suuri määrä dataa. Kaikkea dataa ei ole mahdollista esittää tässä opinnäytetyössä, mutta olennaisimmat huomiot on tuotu esiin. Seuraavissa kappaleissa on tiivistetysti avattu tuloksia ja tehty vertailua eri skenaarioiden välillä. Vertailuja varten simuloinneista saatuja kuvia on yhdistetty yhteen kuvaa, jotta tulkinta rinnakkain olisi mahdollisimman helppoa. Simuloinnin perusteella esitettävät ratkaisumallit on koottu johtopäätöksiin omaksi kappaleeksi.

9.1 Mallinnetut skenaariot

Eri skenaarioita tutkittiin tässä työssä seitsemän kappaletta. Skenaarioista neljä ajettiin täyden 1 200 sekunnin ajan ja kolme skenaariota, skenaariot 2, 3 ja 7, keskeytettiin laskenta-ajan säästämiseksi ennen simuloinnin valmistumista. Tästä syystä osassa kuvista joidenkin skenaarioiden tulokset ovat lyhyemmältä jaksolta kuin koko simulointiajalta. Skenaarioiden laskenta-ajat muodostuivat melko pitkiksi, mutta toisaalta laskentaa olisi ollut mahdollista nopeuttaa todennäköisesti huomattavasti, mikäli työtä varten olisi ollut käytettävissä enemmän prosessoreita kuin nyt oli mahdollista vapauttaa käyttöön.

9.1.1 Toteutuneet palotehot

Simuloinneissa tarkasteltiin palotehon toteutumista verrattuna haluttuun palotehoon, jonka tuli vastata yhden auton palotehoa.

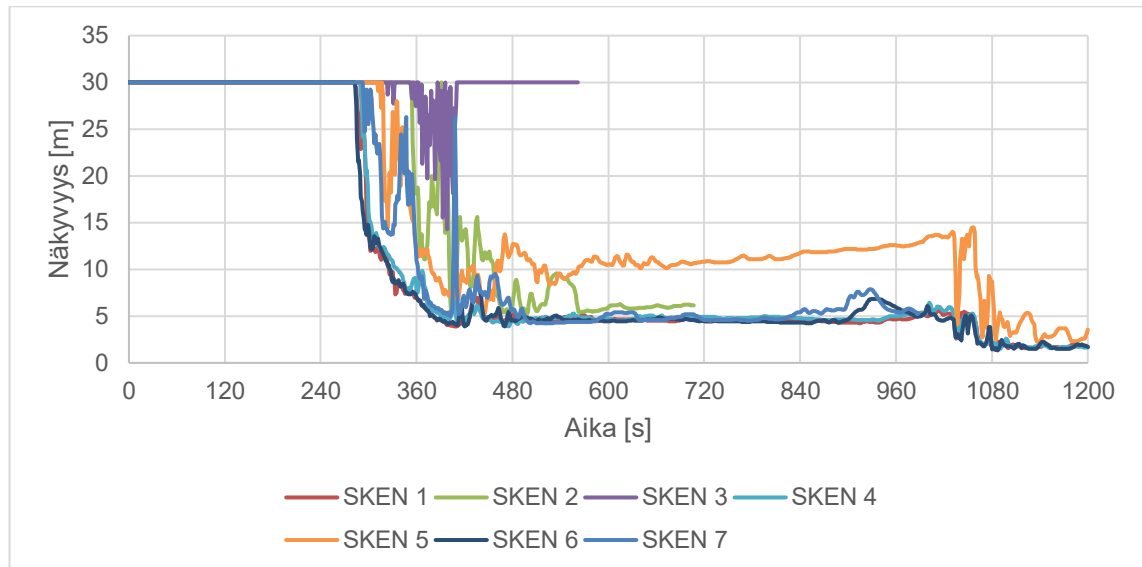


Kuva 11. Simuloinneissa toteutuneet palotehot suhteessa aikaan.

Kuvan 11 mukaisesti nähdään, että kaikkien skenaarioiden palotehot vastasivat pyydettyä palotehoa. Paloteho simuloinnin alussa on melko pieni, mutta nousee kuitenkin jo yli 3 000 kW tasolle ennen kuin ovet autosuojan ja uloskäytävien välillä sulkeutuvat.

9.1.2 Näkyvyys

Näkyvyyden mittaustuloksia on esitetty alla olevassa kuvassa 12.

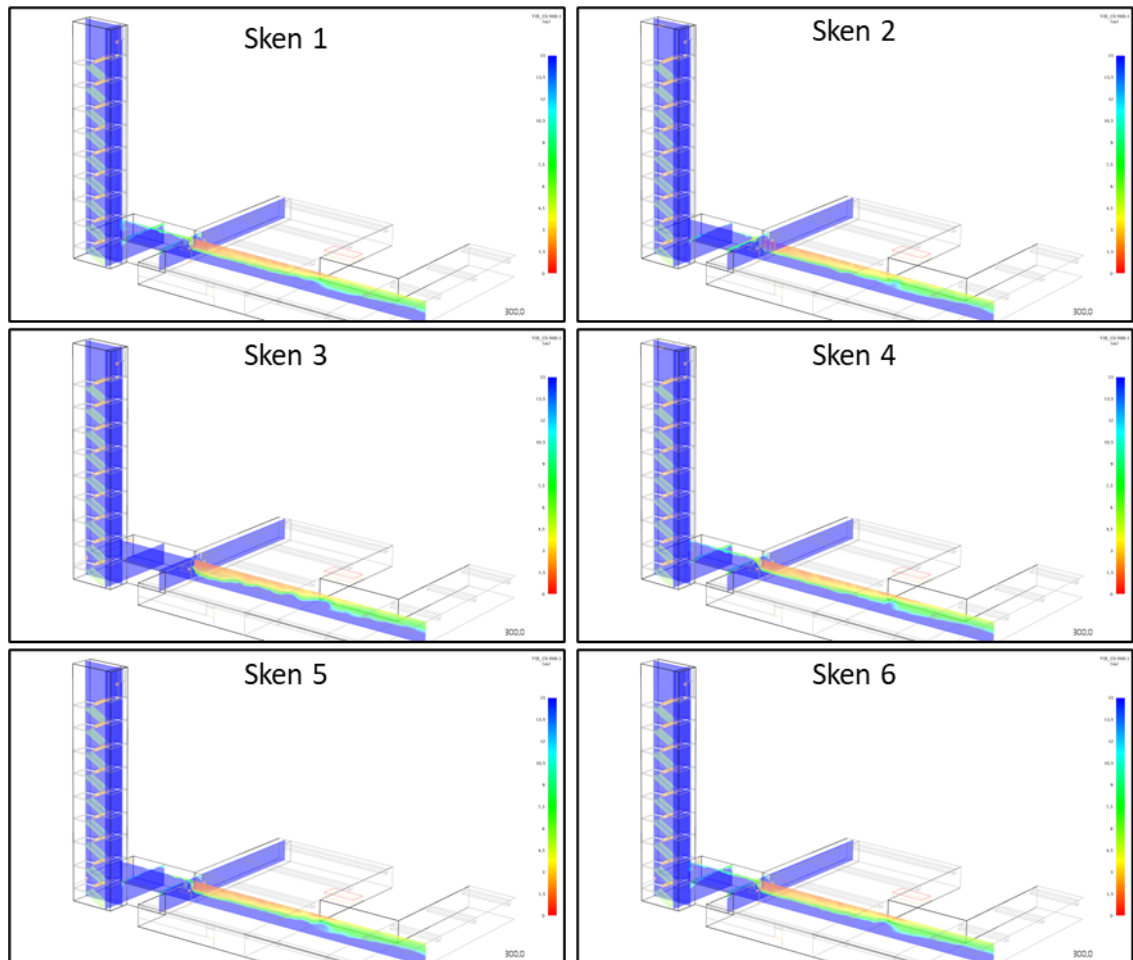


Kuva 12. Näkyvyys eri ajanhetkillä palosulun puolella uloskäytävään johtavan oven edessä.

Näkyvyydet uloskäytävän ja autosuojan välisessä palosulussa säilyvät kaikissa skenaarioissa lähtötasossa vähintään 240 sekuntia. Kuvan 12 mukaisesti parhaat näkyvyydet saavutetaan skenaarioissa 2 ja 3, kuitenkin skenaarion 3 ollen selkeästi paras. Muiden skenaarioiden osalta näkyvyydet heikkenevät melko nopeasti noin 5 metrin tasolle. Kuitenkin skenaarion 5 käyrästä nähdään, että tälläkin ratkaisulla näkyvyyttä palosulussa saadaan parannettua, näkyvyyden säilyessä pääsääntöisesti yli 10 metrin tasolla.

Kuvasta 12 voidaan myös nähdä, että ovien avautuminen simuloinnin alkuvaiheessa ja myös myöhemmin sammutustoiminnan aikana aiheuttaa voimakasta näkyvyyden heikkenemistä. Tämän perusteella voidaan päätellä, että vuodot tiilojen välillä eivät vaikuta savukaasujen liikkeisiin läheskään yhtä paljon kuin ovien avaaminen eli palo-osastorajan rikkominen.

Vaikka tässä simuloinnissa ei verratakaan tuloksia mihinkään hyväksymiskriteereihin, olisivat näkyvyyden osalta skenaariot 2, 3 ja 5 hyväksyttävissä, mikäli vertailu tehtäisiin Suomessa tavanomaisesti toiminnallisessa mitoituksessa käytettyihin hyväksymiskriteereihin.

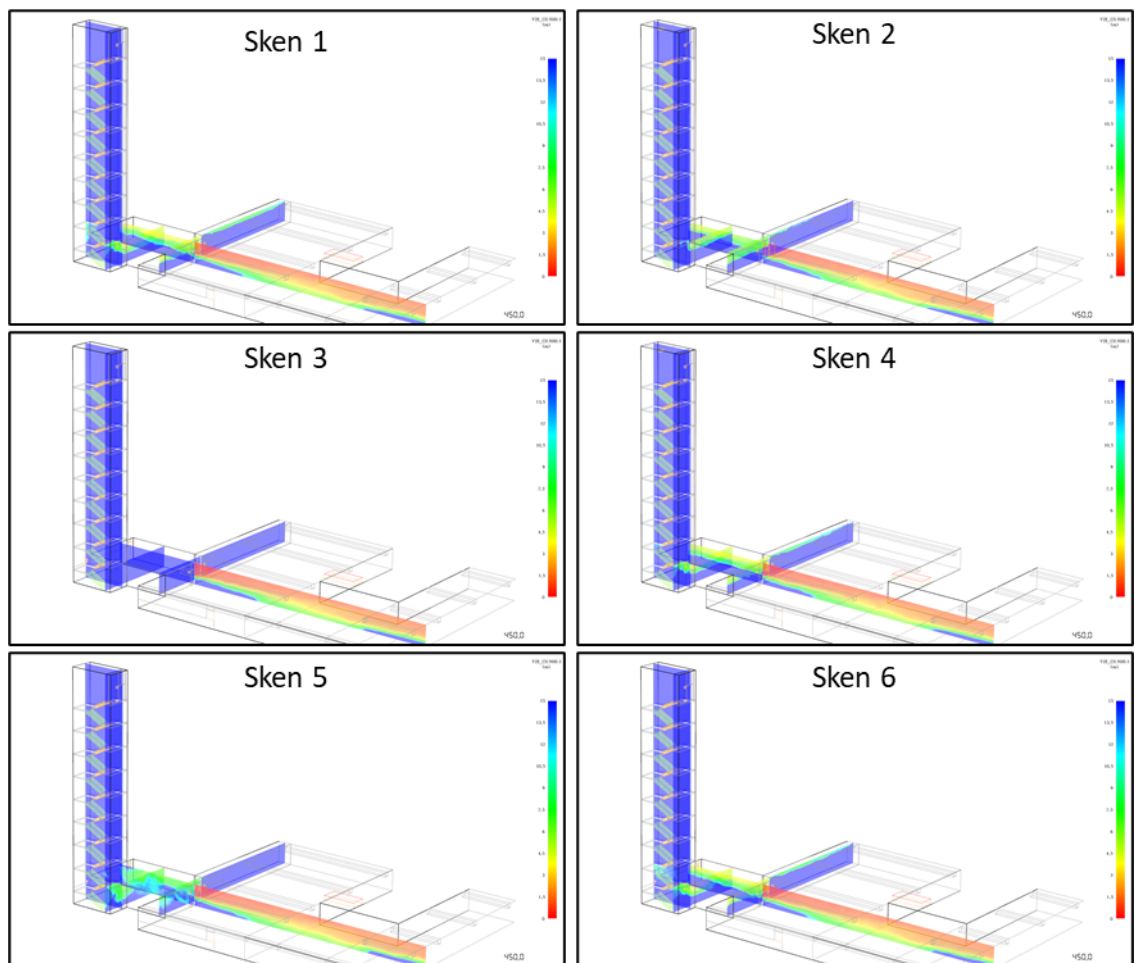


Kuva 13. Näkyvyyisleikkaukset skenaarioittain ajassa 300 sekuntia. Asteikko 0–15 m.

Kuvaan 13 on koottu näkyvyyisleikkaukset kaikista skenaarioista herkkyystar-kastelua lukuun ottamatta. Leikkaukset on otettu 300 sekuntia simuloinnin alkamisen jälkeen. Ovet autosuojan ja uloskäytävien välillä ovat avoinna. Kuvasta nähdään, että skenaariota 5 lukuun ottamatta kaikissa skenaarioissa savukaasut heikentävät näkyvyyttä erityisesti palosulkutilassa jonkin verran. Näkyvyy-

den heikkeneminen kuitenkin tapahtuu katon rajassa, eli tällä ei vielä ole merkitystä poistumiseen, vaikka se onkin merkki siitä, että uloskäytävään kulkeutuu savua autosuojan puolelta.

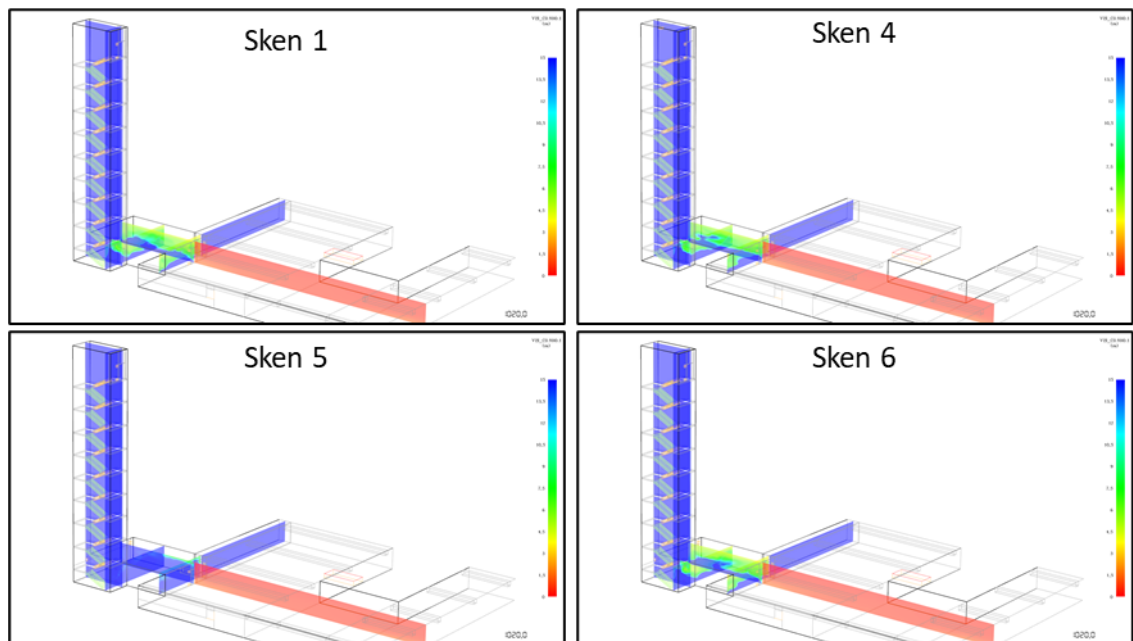
Skenaariot 3 ja 5 tulokset ovat kuvan 13 perusteella ne skenaariot, missä järjestelmällä on löydettävissä vaikutusta savun leviämiseen. Muut skenaariot, vaikkakin keskenään hieman erilaiset, ovat kokonaisuuden kannalta heikompia.



Kuva 14. Näkyvyysleikkaukset skenaarioittain ajassa 450 sekuntia. Asteikko 0–15 m.

Kuva 14 on otettu simuloinneista 150 sekuntia kuvan 13 jälkeen, eli hieman ennen kuin palosulun ja porrashuoneen välinen ovi sulkeutui. Suoraan autosuojan aukeavat ovet ovat tässä kohtaa simulointia jo sulkeutuneet.

Kuvan 14 löydökset tukevat kuvasta 13 tehtyjä tulkintoja. Palosulkuun on pääsyt savukaasuja ja näkyvyys on heikentynyt kaikissa muissa skenaarioissa, paitsi skenaariossa 3. Tässäkin kohtaa voidaan todeta, että paineistuksella näyttää olevan vaikutusta olosuhteiden kehittymiseen erityisesti skenaarioissa 3 ja 5, kun muissa skenaarioissa tulokset ovat hyvin lähellä perusskenaarion tuloksia. Skenaarion 2 ja 4 tuloksista voidaan arvioida, että paineistuksella on jokin positiivista vaikutusta myös siihen, kuinka paljon savut leviävät pystysuuntaiseen porrashuoneeseen. Vaikutus ei kuitenkaan ole kovin merkittävä.

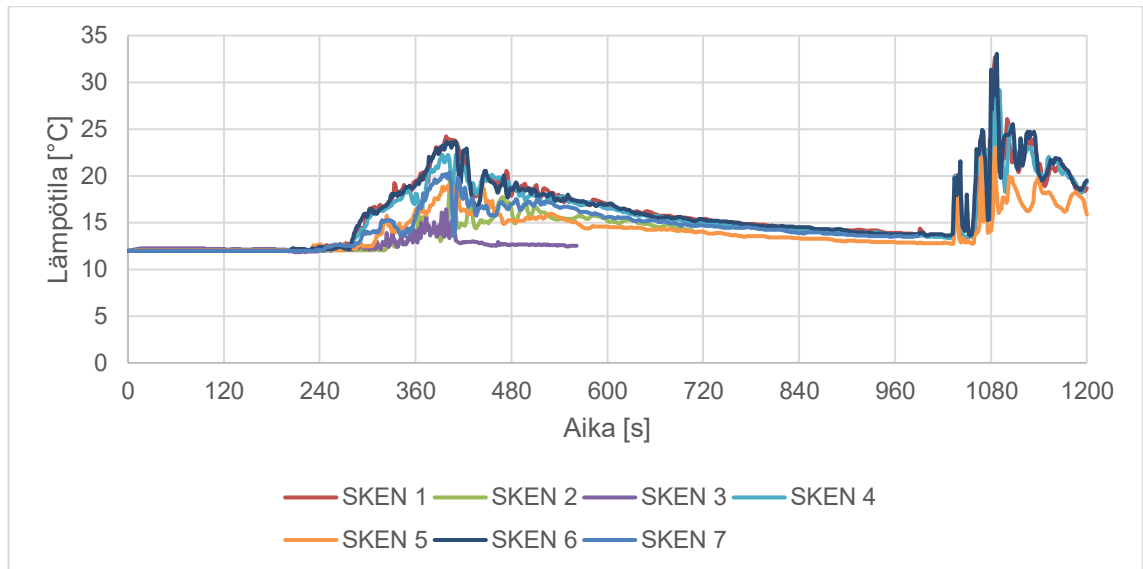


Kuva 15. Näkyvyysleikkaukset skenaarioittain ajassa 1 020 sekuntia. Asteikko 0–15 m.

Kuvaan 15 haluttiin esittää tilanne läheltä sitä hetkeä, jolloin palokunnan oletetaan aloittavan sammutushyökkäystä autosuojaan. Kuvan perusteella skenaario 5 mahdollistaa sellaiset olosuhteet, että näkyvyys myös palosulun puolella on vielä hyvä. Kuitenkin kaikkien kuvassa 15 esitettyjen skenaarioiden osalta voidaan todeta, että itse porrashuoneessa näkyvydet ovat säilyneet hyvällä tasolla, vaikka autosuojan puolella nähdäänkin näkyvyyden heikkeneminen jo lähelle 0 metrin tasoa.

9.1.3 Lämpötila

Lämpötilojen mittauspisteiden tuloksia on esitetty alla olevassa kuvassa 16.

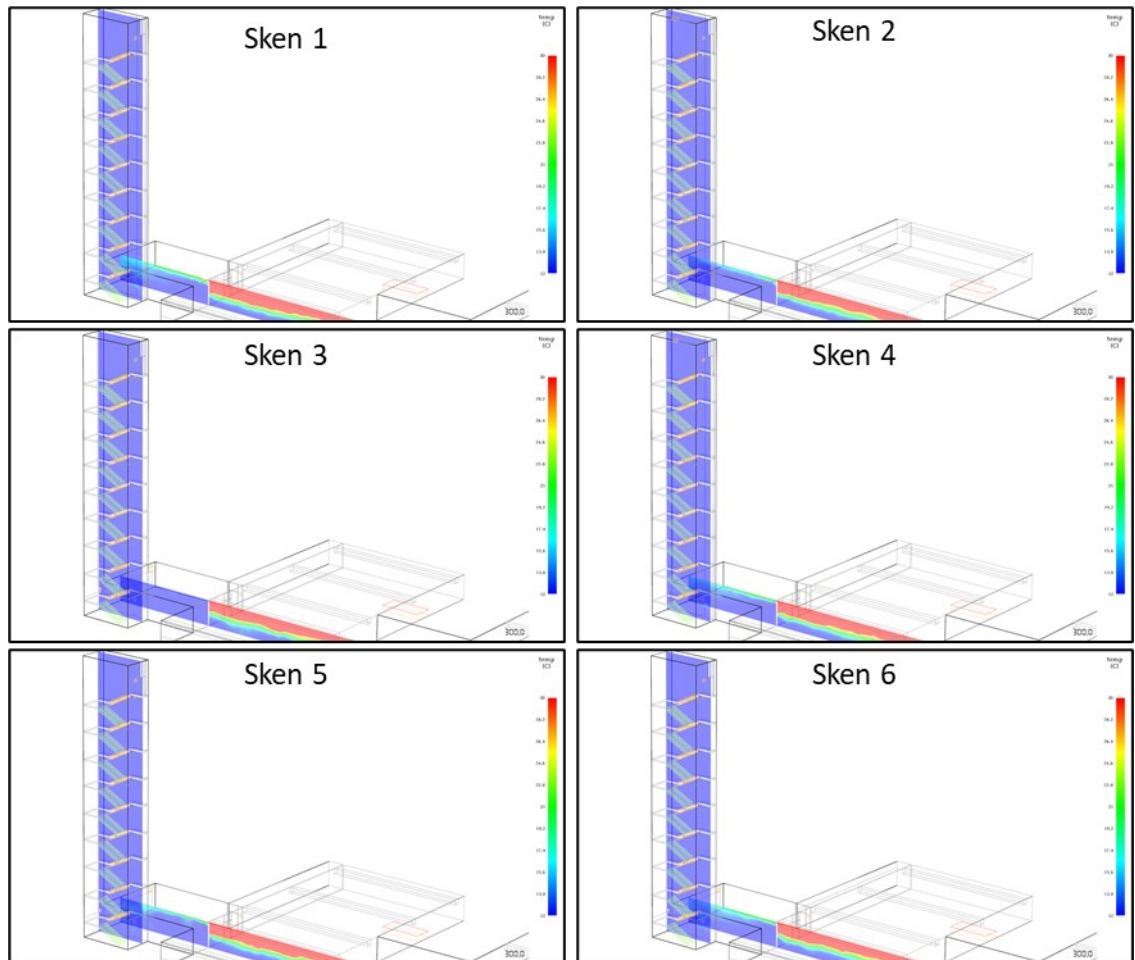


Kuva 16. Lämpötila eri ajanhetkillä palosulun puolella uloskäytävään johtavan oven edessä.

Kuvan 16 tulokset esittävät lämpötilamittausta samasta kohdasta, josta kuvan 12 lämpötilamittaukset oli otettu. Kuvan perusteella voidaan tehdä samat johtopäätökset kuin näkyvyyden mittauksista, eli skenaariot 2, 3 ja 5 tuottavat parhaat tulokset.

Lämpötilan osalta ei kuitenkaan nähdä yhtä suuria muutoksia tai skenaarioiden välisiä eroja, joita nähtiin näkyvyyden mittauksen osalta. Tämä johtuu siitä, että paloteho on simuloinnin alkuvaiheessa melko maltillinen. Erityisesti, kun huomioidaan suuri tilavuus, jossa palo saa alkunsa, eivät lämpötilat koko mallissa nouse vielä merkittävästi. Palon lähellä toki havaitaan selkeästi kuumempia lämpötiloja, mutta vaikka savukaasut leviävätkin laajalle, eivät ne ole palon alkuvaiheessa niin kuumia, että ne aiheuttaisivat haittaa poistumiselle hiemankin kauempana palosta.

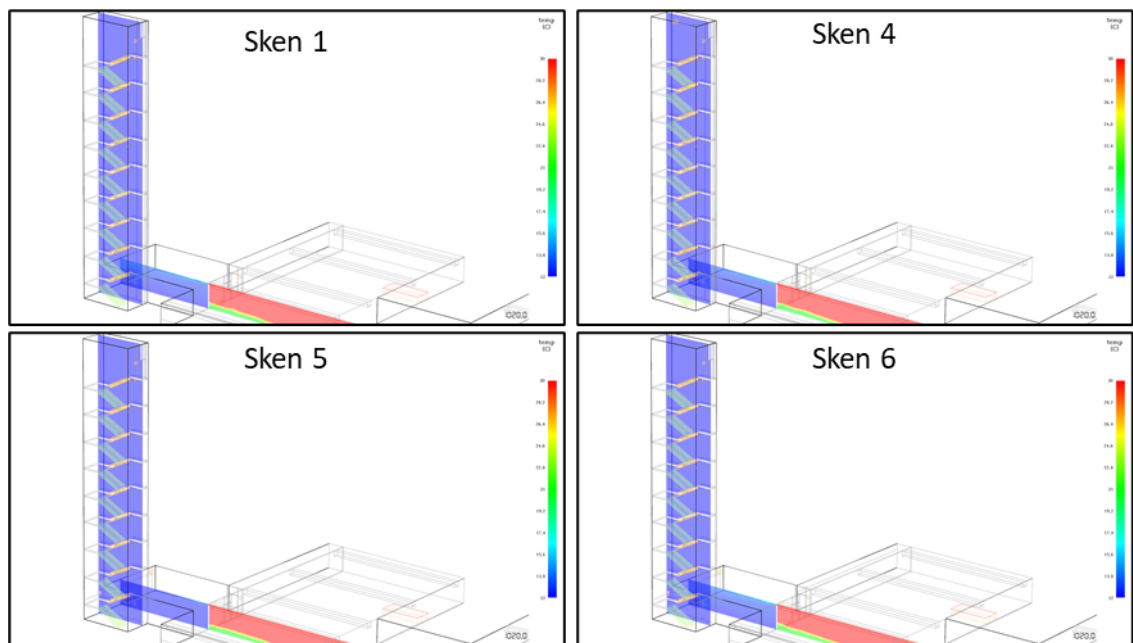
Myöskään ovien avaaminen simuloinnin loppupuolella ei johda palosulussa erityisen kuumiin olosuhteisiin. Tässä kohtaa kuitenkin on nähtävissä, että auto-suojan puolelta tulevat savukaasut nostavat lämpötiloja lähtötasoon nähden, mutta kaasut sekoittuvat ja jäähtyvät kuitenkin selkeästi.



Kuva 17. Lämpötilaleikkaukset skenaarioittain ajassa 300 sekuntia. Asteikko 12–30 °C.

Kuvassa 17 on esitetty lämpötilaleikkauksia simuloiduista skenaarioista. Kuvan perusteella nähdään, kuten aiemminkin, että skenaariot 3 ja 5 tuottavat parhaan tuloksen. Muiden skenaarioiden välillä ei ole suurta eroa, mikä toisaalta tukee kuvassa 16 esitettyjen mittauspisteiden tuloksia.

Simuloinnin edetessä lämpötilat uloskäytävissä eivät merkittävästi kohoa. Tähän on osasyynä se, että vaikka tilojen välillä onkin vuotoja, on vuotava ilmamäärä niin pieni, ettei sillä ole merkittävää vaikutusta uloskäytävien lämpötilaan isossa mittakaavassa. Tämä ilmiö on nähtävissä kuvasta 18, jossa on esitetty tilannetta simuloinneista lämpötilan suhteen, kun simuloinnin alusta on kulunut 1 020 sekuntia. Kuvan 18 tulokset tukevat myös yksittäisen mittauspisteen arvoja.



Kuva 18. Lämpötilaleikkaukset skenaarioittain ajassa 1 020 sekuntia. Asteikko 12–30 °C.

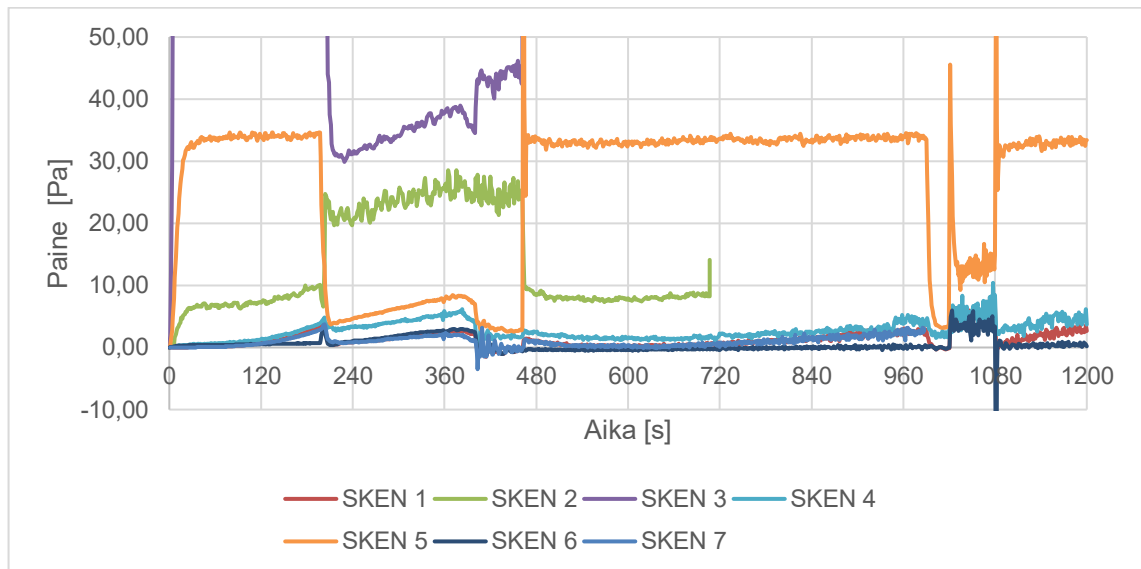
9.1.4 Paine

Paineen vaihtelu eri skenaarioiden välillä oli hyvin suurta. Nopeat paineen vaihtelut ovien avautuessa toivat myös haasteita simulointien suorittamiseen, koska FDS-ohjelmistolla oli vaikeuksia saavuttaa tasapainoa laskentayhtälöissä näiden nopeiden paineen muutosten vuoksi.

Simuloinneissa onnistuttiin kuitenkin löytämään ratkaisut, joilla laskenta saatiin suoritettua ilman ohjelman kaatumista. Nopeat paineen vaihtelut kuitenkin johtivat siihen, että laskenta-aika muodostui huomattavasti pidemmäksi kuin oli alun

perin ennakoitu. Tämä osaltaan tarkoitti sitä, että laskentaan käytettäviä tietokoneresursseja ei oltu varattu riittävästi.

Lopputuloksena laskennasta saatiin kuitenkin ratkaisut, jotka mahdollistivat skenaarioiden väliset vertailut. Kuvassa 19 on esitetty mittaustulokset paineen osalta porrashuoneen ja autosuojan välisestä palosulusta. Positiiviset arvot tarkoittavat ylipainetta normaaliin ilmanpaineeseen verrattuna, ja negatiiviset arvot kuvastavat vastaavasti alipainetta.



Kuva 19. Paine eri ajanhetkillä palosulussa skenaarioittain.

Kuvasta 19 nähdään, että paineistustapojen välillä on erittäin suuria eroja sen suhteen, kuinka isoja paine-eroja ulkoilman ja palosulun välillä saavutettiin. Perusskenaariossa, eli ilman paineistusta, paine palosulussa nousee joitakin yksiköitä, ja ovien avaaminen pudottaa painetta aina hetkellisesti.

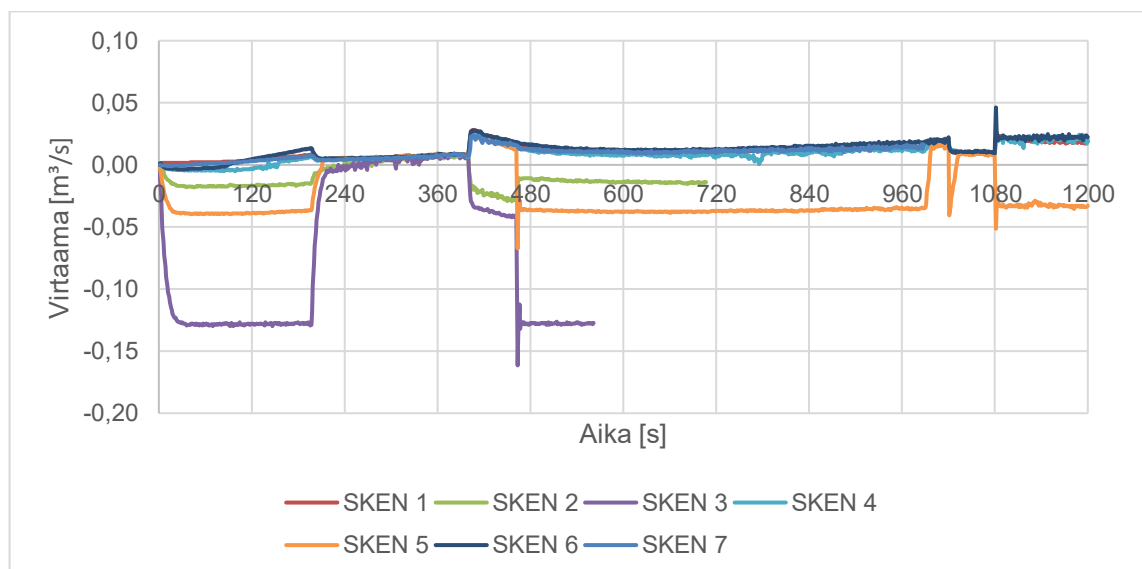
Kun tavoitteena on ylläpitää uloskäytävissä ylipainetta palotilaan verrattuna, voidaan todeta, että skenaarioiden 2 ja 5 tulokset ovat lähimpänä tavoiteltua lopputulosta. Skenaarioiden 2 ja 5 tapauksessa on nähtävissä, että ovien ollessa suljettuina saa puhallin ylläpidettyä noin 30–35 Pascalin ylipainetta. Ovien avautuminen luonnollisesti pudottaa painetasoja huomattavasti, mutta käytännössä palosulku pysyy koko simuloinnin ajan ylipaineisena. Paine ei myöskään nouse missään

kohtaa merkittävän korkeaksi. Skenaarion 5 mittaustuloksissa nähtiin yksi hetkellinen 100 Pascalin piikki, mutta tämä osuu hetkeen, kun ovi sulkeutuu. Tämän perusteella sen voidaan ajatella olevan hetkellinen laskentavirhe, koska jo seuraavan aika-askelen kohdalla paine palaa noin 35 Pascalin tasolle. Alle 50 Pascalin ylipaineen tasot ovat vielä standardin mitoituksen mukaisesti sellaisia, että ne mahdollistavat oven avaamisen ilman merkittävää ylimääräistä voiman käyttöä.

Kuvaan 19 valittiin asteikko siten, että luettavuus olisi paras mahdollinen tyypillisimpien ilmiöiden osalta. Tästä syystä skenaarion 3 tulokset eivät näy kokonaisuudessaan. Tässä skenaariossa puhaltimen ohjaus ei ole toiminut oikein ja paine palosulussa on noussut jopa yli 350 Pa:n tasolle, eli se olisi niin suuri, ettei ovia olisi mahdollista avata.

9.1.5 Virtaukset

Lopuksi tulosten tarkasteluun nostetaan vielä mittaustuloksia virtausten osalta. Näitä virtauksia tarkastelemalla on mahdollista tutkia tuloksia ja suunnitella vielä sellaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja, joita ei nyt tässä simuloinnissa tutkittu.

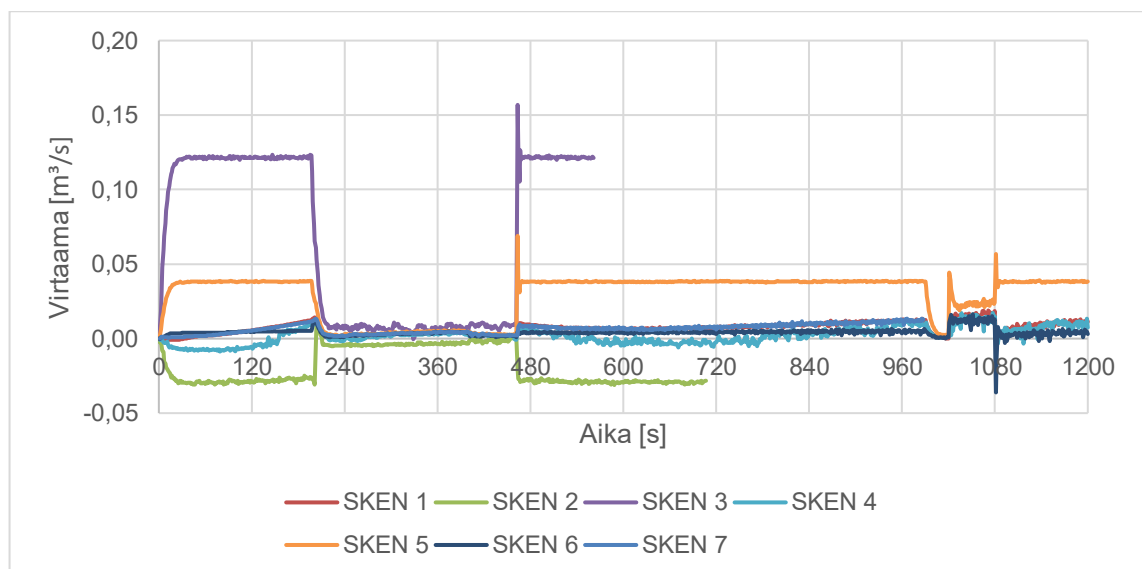


Kuva 20. Autosuojan ja palosulun välisen oven yläreunan vuodon ilman virtaamia suhteessa aikaan skenaarioittain.

Kuvaan 20 (sivulla 48) on koottu palo lähimmän oviaukon, eli autosuojan ja palosulun välisen oven, yläreunan vuodon virtaamia ilman ja savukaasujen osalta. Positiivinen lukema tarkoittaa, että ilma on virrannut vuodosta autosuojasta palosulun puolelle ja vastaavasti negatiivinen lukema tarkoittaa, että ilmaa on virrannut palosulusta autosuojaan päin.

Kuvan 20 perusteella nähdään, että skenaarioissa 2–5 ilma on simuloinnin alussa virrannut haluttuun suuntaan, eli palosulusta kohti autosuojaa. Näistä skenaarion 4 virtaus kuitenkin kääntyy vastakkaiseen suuntaan sen jälkeen, kun ovet sulkeutuvat poistumisen loppuvaiheessa. Skenaarion 4 paineistuksen ilma ei siis täytä tavoitettaan, koska kääntynyt ilman virtaus tarkoittaa sitä, että savukaasut kulkeutuvat autosuojasta palosulkuun myös ovien ollessa suljettuina.

Parhaiten ilman virtaukset toimivat skenaarioissa 2, 3 ja 5. Virtaukset skenaarion 3 osalta ovat jo erittäin suuria, mikä on luonnollista, jos tuloksia verrataan skenaariossa 5 nähtyyn ylipaineen nousuun.

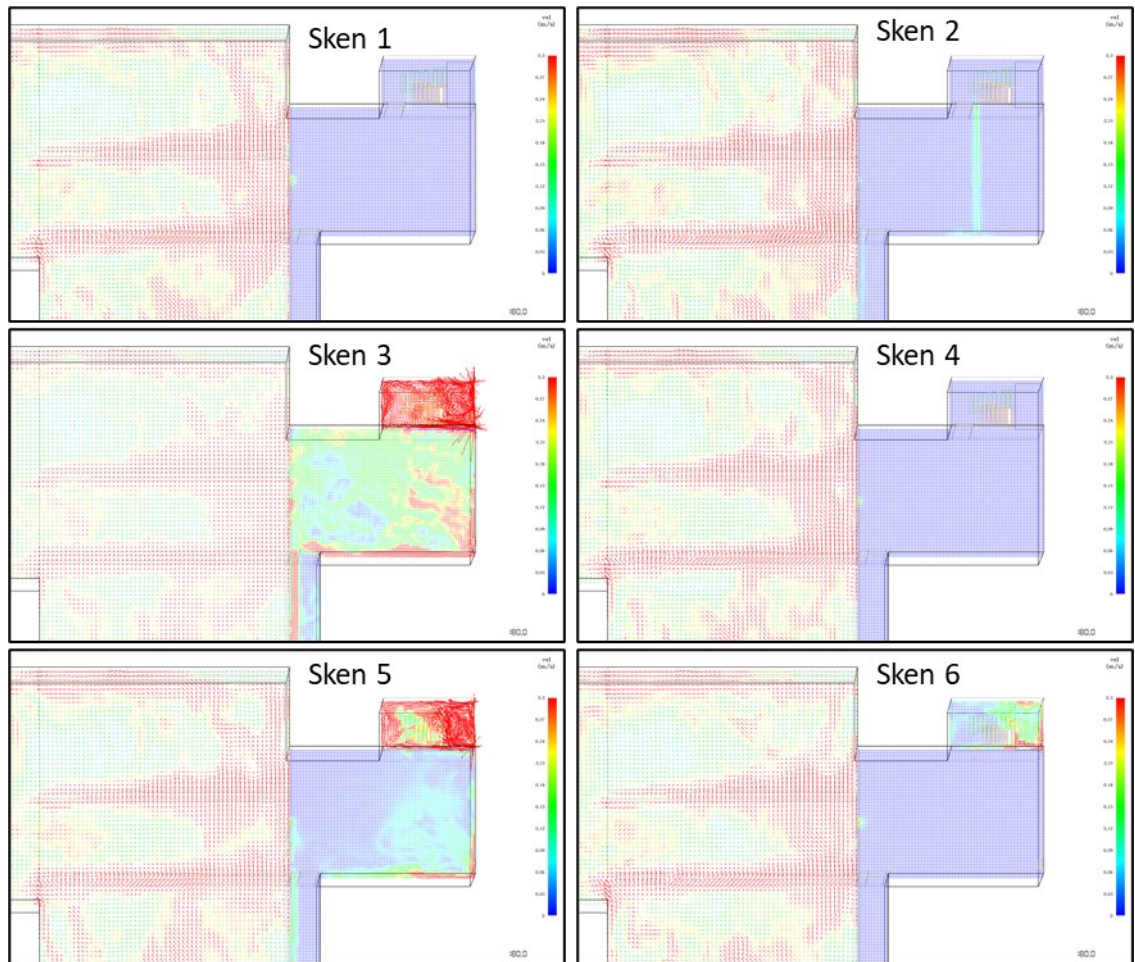


Kuva 21. Porrashuoneen ulko-oven yläreunan vuodon ilman virtaamia suhteessa aikaan skenaarioittain.

Kuvan 21 tuloksissa on esitetty virtaamaa porrashuoneen yläpäässä sijainneen ulko-oven yläreunan vuotoaukon kautta. Tässä tapauksessa positiivinen virtaus

tarkoittaa ilman virtausta porrashuoneesta ulos ja negatiivinen tulos ilman virtaamista ulkotilasta sisään porrashuoneeseen.

Kuvasta 21 nähdään, että suurimmassa osassa skenaarioista virtaukset porrashuoneen yläosan oven vuodon kautta olivat häviävän pieniä. Kuitenkin skenaarioiden 3 ja 5 tapauksessa paineistuksen vaikutuksesta myös porrashuoneen yläosasta virtasi ilmaa ulos, eli paineistuksen voidaan katsoa toimineen halutulla tavalla. Hieman yllättäen skenaarioissa, joissa paineistuspuhallin sijaitsi heti porrashuoneen yläpäässä, eli skenaarioissa 2 ja 4 nähdään, että ilman virtaus olikin ulkotilasta sisäänpäin. Tämä todennäköisesti selittyy erittäin voimakkaalla pyörteilyllä, jonka valittu paineistusratkaisu sai aikaan porrashuoneen ylimmälle tasolle. Pyörteilyn vaikutuksesta on siis mahdollista, että ilmaa on virrannut sisään paineistuspuhaltimen lisäksi myös oven vuotojen kautta.

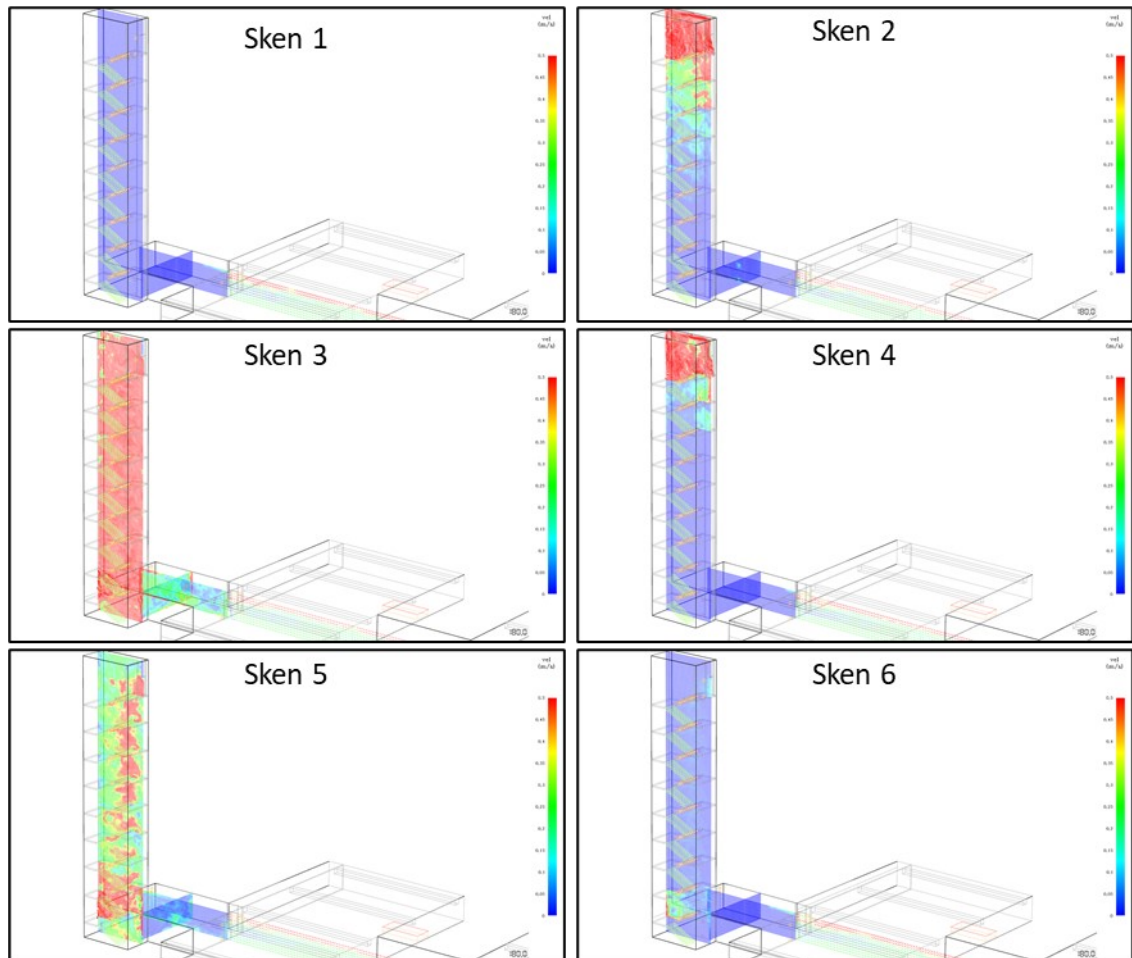


Kuva 22. Virtaukset autosuojan tasolla kuvattuna ajassa 180 sekuntia. Asteikko 0–0,5 m/s.

Kuvassa 22 on esitetty virtauksia autosuojan oviaukkojen yläreunan tasolla, eli noin 2,1 metrin korkeudella lattiatasosta. Kuvat esittävät tilannetta 180 sekunnin kohdalla simulointia, eli hieman ennen ensimmäisen oven avautumista. Skenaariossa 1 nähdään, että autosuojasta vuotaa hieman ilmaa palosulun puolelle, mutta virtaukset eivät ulotu porrashuoneeseen asti. Vastaavaa nähdään myös skenaarioissa 4 ja 6, vaikka skenaariossa 6 tuodaankin jonkin verran ilmaa porrashuoneen alapäähän.

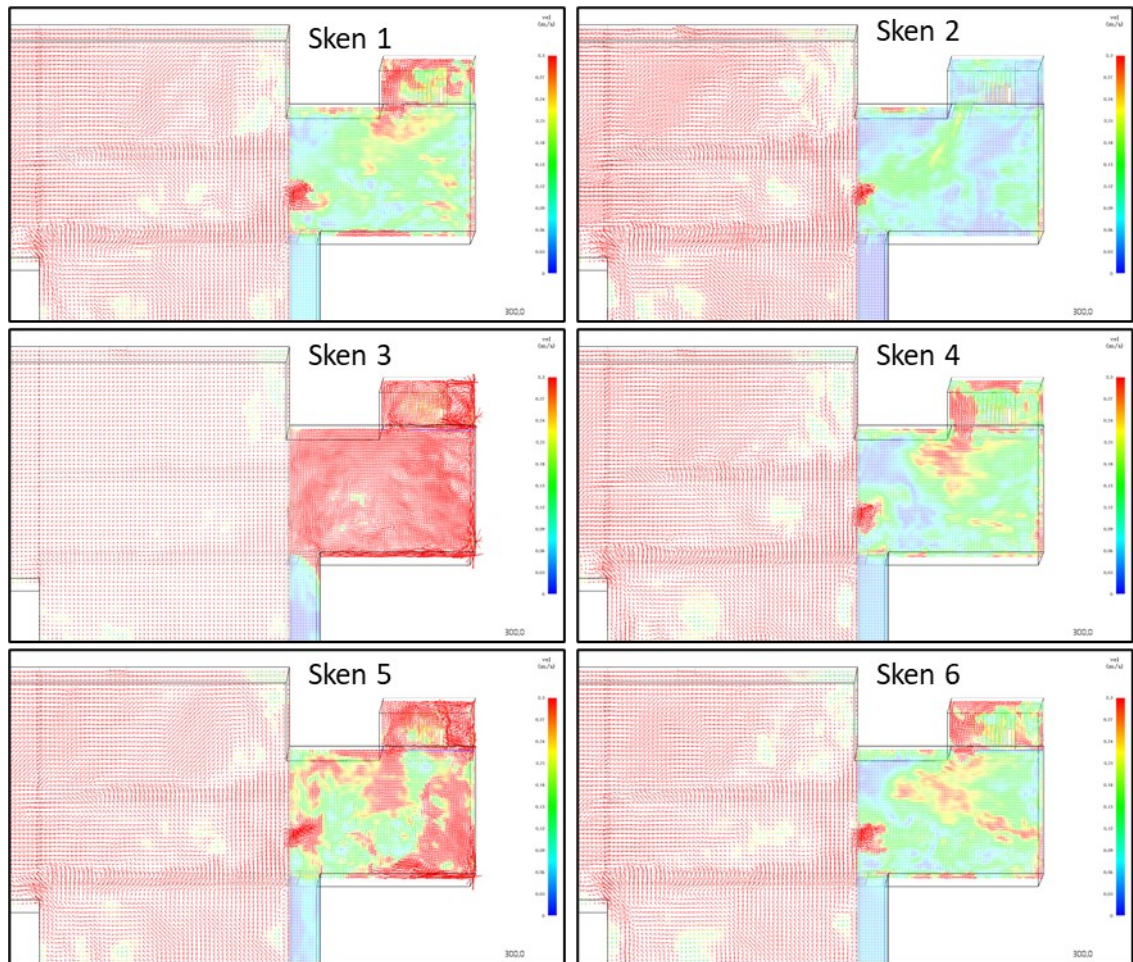
Skenaarioiden 3 ja 5 tapauksessa virtaamat sekoittuvat voimakkaasti etenkin porrashuoneessa, mutta näissä skenaarioissa ei tapahdu ilman virtausta autosuojasta uloskäytäviin päin.

Pelkästään alimman tason virtausten tarkastelu ei välttämättä esitä kokonaisuutta kovin hyvin. Tästä syystä seuraavassa kuvassa on esitetty virtaukset leikkauksena koko uloskäytävän osalta.



Kuva 23. Virtaukset leikkauksessa kuvattuna ajassa 180 sekuntia. Asteikko 0–0,5 m/s.

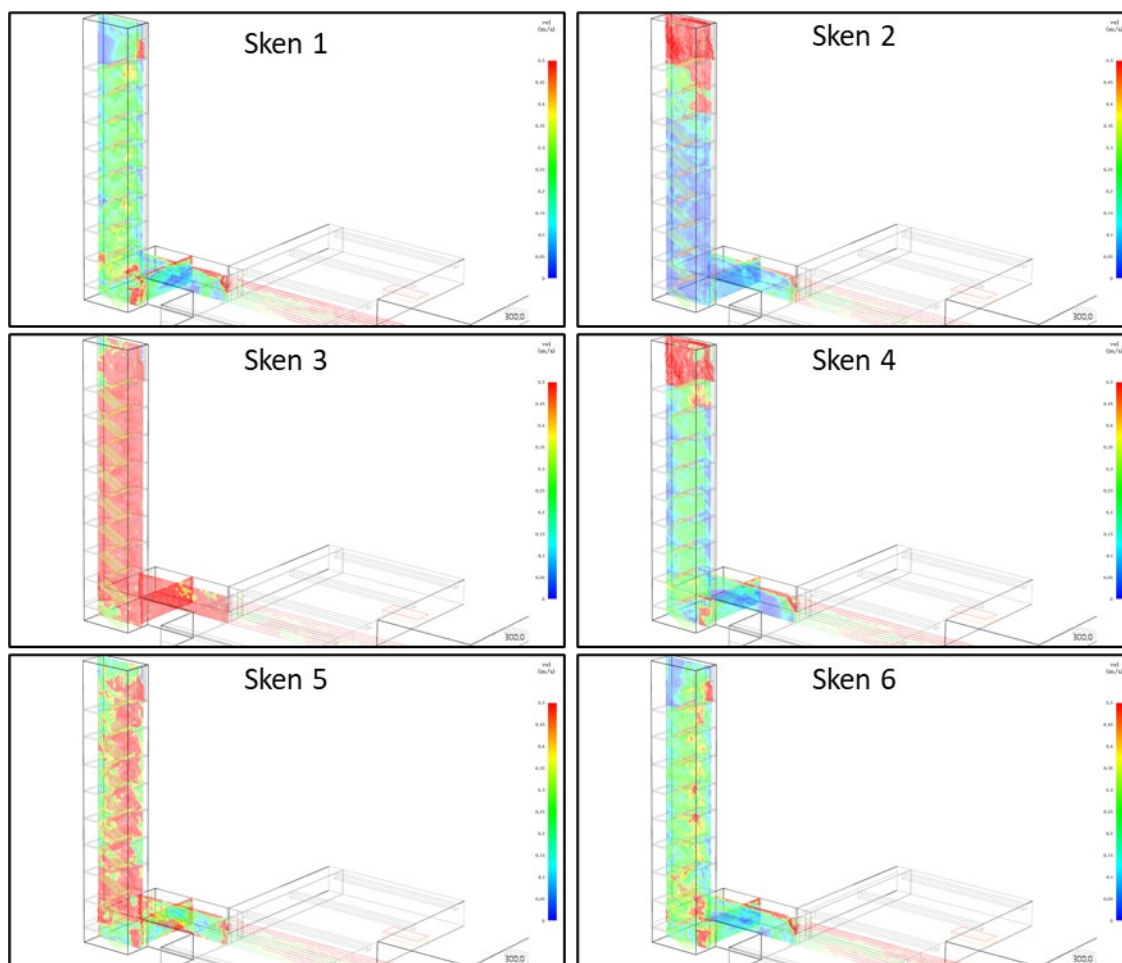
Kuvan 23 mukaisesti voidaan nähdä, että skenaarioissa 3 ja 5 paineistuksen aiheuttamat virtaukset vaikuttavat koko uloskäytävään, eli porrashuoneeseen ja palosulkuun. Muissa skenaarioissa paineistuksen vaikutukset jäävät melko paikallisiksi ainakin virtausten osalta tarkasteltuna.



Kuva 24. Virtaukset autosuojan tasolla kuvattuna ajassa 300 sekuntia. Asteikko 0–0,5 m/s.

Kuvaan 24 on esitetty vastaavat tulokset kuin kuvassa 22 (sivulla 51), mutta hieman myöhemmältä ajanhetkeltä simuloinnista. Tässä kohtaa ovet autosuojan ja palosulun sekä palosulun ja porrashuoneen välillä ovat avoimina.

Kuvan perusteella kaikissa skenaarioissa, paitsi skenaariossa 3, tapahtuu virtausta autosuojasta palosulkuun päin, eli palon aiheuttamat savukaasut pääsevät kulkeutumaan uloskäytäviin. Skenaarion 2 tapauksessa on nähtävissä, että vaikka siinä virtausta tapahtuukin autosuojasta palosulkuun, on porrashuoneesta kuitenkin virtaus myös palosulkuun päin, eli paineistus tässä tapauksessa turvaa kuitenkin porrashuonetta savujen leviämiseltä, mitä muissa skenaarioissa ei samalla tavalla tapahdu.



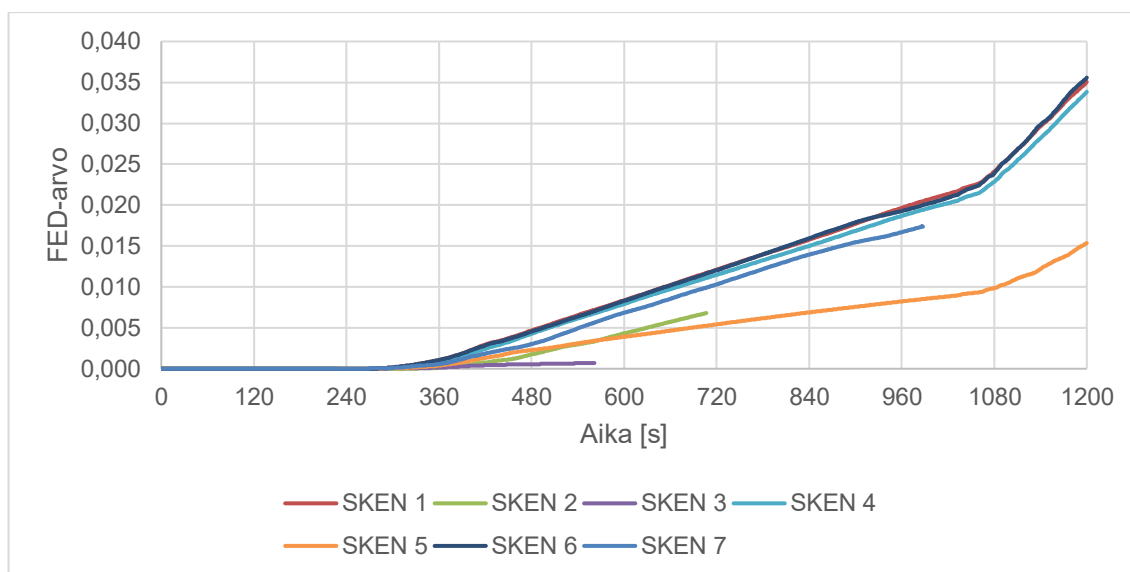
Kuva 25. Virtaukset leikkauksessa kuvattuna ajassa 300 sekuntia. Asteikko 0–0,5 m/s.

Kuva 25 esittää virtaukset koko porrashuoneen geometriassa. Tästä kuvasta nähdään, että ovien avautuminen on paineistukselle erittäin haastava tilanne, koska autosuojasta muodostuu niin voimakasta virtausta kohti porrashuonetta. Ainoastaan skenaariossa 3 paineistusilmamäärä on riittävä estämään kaikkien savukaasujen virtaamisen autosuojasta uloskäytävään.

Kuitenkin kaikissa skenaarioissa nähdään positiivisena se, että virtausta tapahtuu läpi koko porrashuoneen. Vaikka uloskäytävään joutuisikin jonkin verran savua, on virtauksella se hyöty, että savukaasut sekoittuvat muuhun ympäröivään ilmaan ja laimenevat. Perusskenaarion tapauksessa käy juuri kuten ennakkoon oletettiin, eli porrashuone toimii ikään kuin savupiippuna, johtaen savukaasuja tehokkaasti kohti ulkoilmaa.

9.1.6 FED-arvot

Simuloinneissa mitattiin myös niin kutsuttua FED-arvoa, eli Fractional Effective Dose -arvoa. Tämä arvo kuvaa henkilön toimintakyvyn menetystä palon aiheuttamien myrkyllisten kaasujen vuoksi. FED-arvo on hyvä mittari tulosten hyväksyttävyyttä tutkittaessa, mutta tässä simuloinnissa sen arvo on melko vähäinen, koska FED-arvot jäävät kaikissa skenaarioissa hyvin pieniksi.



Kuva 26. FED-arvon kertymä suhteessa aikaan palosulun puolella uloskäytävään johtavan oven edessä.

Kuvasta 26 nähdään käytännössä samaa, mitä nähtiin jo esimerkiksi lämpötila- ja näkyvyysarvoja tarkasteltaessa. Eli käytännössä niissä skenaarioissa, joissa palosulkuun kulkeutui enemmän savukaasuja, myös FED-arvot nousivat korkeimmiksi. FED-mittauksen perusteella voidaan todeta, että parhaat tulokset saatiin skenaarioista 2, 3 ja 5. Nämä tulokset tukevat jo aiemmin tehtyjä löydöksiä siitä, miten eri skenaariot vertautuvat toisiinsa nähden.

10 Johtopäätökset

Laadittujen simulointien perusteella voidaan nähdä, että käytännössä kaksi skenaariota nousee ylitse muiden. Toimivimmiksi osoittautuivat ne ratkaisut, joissa paineistusilmaa jaettiin porrashuoneen alapäähän ja palosulkuun. Eli standardin mukainen paineistusratkaisu (skenaario 3) ja vähennetyn ilmamäärän paineistusratkaisu (skenaario 5) menestyvät skenaarioiden välisessä vertailussa parhaiten, kun tarkastellaan kokonaisuutta niin näkyvyyksien, lämpötilojen kuin FED-arvojenkin valossa. Myös virtaukset näissä skenaarioissa vaikuttavat kaikkein loogisimmilta ja tulokset tukevat parhaiten paineistuksen tarkoitusta, eli uloskäytävän suojausta palon aiheuttamilta savukaasuilta.

Simulointien perusteella paineistuksen toteutuksen kannalta tuotettavan ilmamäärän lisäksi erittäin suuri merkitys lopputulokseen on myös ilman jakotavalla sekä paineistuspuhaltimen ohjauksella. Ohjausjärjestelmän toimivuutta ei juuri tässä työssä tarkasteltu, mutta esimerkiksi skenaarion 3 tapausta, jossa paine nousi reilusti yli 300 Pascalin, ei oikeassa tulipalotilanteessa saisi päästä tapahtumaan. Näin suuri paine estää melko varmasti paineistetun tilan suuntaan avautuvan oven avaamisen, näin estäen poistumisen.

Ilman jakotapaa tutkittaessa oli kenties jopa hieman yllättävää huomata, että paras ratkaisu löydettiin toteuttamalla ilman jako kanavoituna alas autosuojan tasolle. Toteuttamalla paineistuspuhallin pelkästään uloskäytävän yläpäähän ja yrittämällä tätä kautta paineistaa porrashuonetta päädyttiin ratkaisuun, jossa ilman pyörteily aiheutti ainakin jossain määrin epätoivottua virtausta vuotojen kautta ulkoilmasta porrashuoneeseen päin. Tämän simuloinnin perusteella on todettavissa, että paineistuksen suhteen puhalluksen tulisi tapahtua vastakkaisesta suunnasta kuin missä lopullinen ulko-ovi sijaitsee. Maanalaisten tilojen tapauksessa siis kanavointi tulisi toteuttaa alimmalle tasolle, ja samaa analogiaa käyttäen maanpäällisissä rakennuksissa paineistusilma tulisi tuottaa ylimmän paineistetun kerroksen tasolle.

Ilmamäärän suhteen vaikuttaa siltä, että standardin mukaisella C-luokan paineistusilmamäärällä päädytään herkästi ylimitoittamaan järjestelmää, mutta toisaalta niin sanottu normaaliin 8-kerroksiseen kerrostaloon tarkoitettu uloskäytävän $2 \text{ m}^3/\text{s}$ paineistuspuhallin ei välttämättä kaikissa tapauksissa ole riittävä tähän sovellukseen. Todennäköisesti riittävä paineistusilmamäärä olisi jossain näiden kahden tutkitun ilmamäärän välissä, ollen noin $4\text{--}6 \text{ m}^3/\text{s}$ luokkaa. Tämä ilmamäärä mahdollistaisi kuitenkin yhteen avonaiseen $1,2$ metriä leveään oveen noin $1,5\text{--}2,4 \text{ m/s}$ ilman nopeuden ilman vuotojen huomiointia. Kuitenkin simuloitien kautta nähtiin, että pienikin ylipaine auttaa hillitsemään vuotojen kautta tapahtuvaa savun leviämistä, jolloin kohteesta riippuen voisi olla mahdollista käyttää myös ilmanvaihtoa ylipaineistuksen tuottoon.

Paineistusjärjestelmän ohjauksiin tulee kiinnittää myös erityistä huomiota, jotta ei päädytä tilanteeseen, jossa paineistus aiheuttaa ovien avautumiselle estettä. Lisäksi simuloinneista voitiin nähdä, että jopa ovien ollessa suljettuina saattaa paineistus aiheuttaa vuotojen kautta hyvinkin suuria ilman nopeuksia, mikä ei välttämättä ole toivottavaa. Suunnittelussa tulisikin kiinnittää huomiota siihen, miten paineistusilma jaetaan tilaan, jotta puhalluksen aiheuttama ilmasuihku ei ole niin voimakas, että se esimerkiksi säikäyttäisi poistuvia ihmisiä.

Tätä työtä varten laadittujen simulointien perusteella vastaavanlaiseen kohteeseen tulisi mitoittaa paineistusjärjestelmä toiminnallisesti, eikä pelkästään taulukkomitoituksen avulla. Lähtökohdaksi mitoitukselle voisi näiden simulointien perusteella esittää noin $5 \text{ m}^3/\text{s}$ puhallinta, jonka ilman jako toteutettaisiin vähintään porrashuoneen alatasolle sekä palosulkutilaan.

11 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tutkia toiminnallisen palomitoituksen keinoin eri paineistusjärjestelmien keskinäistä paremmuutta. Tarkoituksena oli löytää keinoja ja tapoja, joilla paineistusta pystyttäisiin vastaavissa kohteissa suunnittelemaan simulointien avulla mahdollisimman helposti. Lisäksi työn yhtenä tarkoituksena oli

löytää oppeja, joita voidaan jakaa yrityksen LVI-suunnittelupuolelle, kun heille tulee eteen paineistuksen mitoitusta vaativia suunnittelukohteita.

Kokonaisuudessaan työssä havaittiin, että paineistusjärjestelmä on erittäin haastava järjestelmä niin suunnittelun kuin mallintamisenkin kannalta. Paineistuksen mitoitukseen on olemassa EN-standardin ohjeistus, mutta puhtaasti standardin vaatimusten mukaisesti toteutettu paineistus ei välttämättä ole jokaiseen kohteeseen toimivin ratkaisu.

Paineistusjärjestelmän mitoitukseen vaikuttaa monia muuttujia, joita kaikkia ei yleensä voida suunnitteluvaiheessa edes tuntea. Tästä syystä kohteen paloturvallisuussuunnittelijan ja LVI-suunnittelijan tulisi tehdä paineistusjärjestelmän suunnittelu yhteistyössä. Tämän tutkimuksen perusteella työn laatijan näkemys on, että toiminnallista palomitoitusta voi käyttää myös paineistusjärjestelmien suunnitteluun. Järjestelmä on kuitenkin kokonaisuus, joten pelkästään toisen suunnittelualan kokemuksella sellaista ei tulisi suunnitella. Tämän työn lopputuloksen perusteella voitaisiin todeta, että koska muuttujia on niin paljon, olisi suunnittelijan aina tunnettava kohde ja sen erityispiirteet tarkasti ennen paineistusjärjestelmän suunnittelua.

Toiminnallinen palomitoitus on melko raskas keino yksittäisen järjestelmän suunnitteluun. Tämän työn lopputuloksena voidaan todeta, että esimerkiksi paineistusjärjestelmän toiminnallinen mitoitus ei yksittäisenä työnä olisi kohteen kannalta järkevää, mutta osana muuta toiminnallista mitoitusta se voi hyvinkin tuoda hankkeelle taulukkomitoitusta paremman lopputuloksen sekä mahdollisia kustannussäästöjä.

Koska lähtötiedoilla on merkittävä vaikutus tämän tyyppisen työn onnistumisen kannalta, voisi jatkossa olla järkevää toteuttaa esimerkiksi olemassa olevista vastaavan tyyppisistä kohteista mittauksia, joissa määriteltäisiin uloskäytävien vuotoja. Näitä tietoja käyttämällä olisi tulevaisuudessa mahdollisuus muodostaa esimerkiksi tietokantaa eri lähtötiedoista. Tätä laajempaa tietokantaa voisi sitten käyttää vaikka Monte Carlo -simulointeihin lopullisten lähtötietojen määrittelyjä

varten. Toisaalta varaamalla enemmän laskentatehoa käyttöön on myös FDS-ohjelmistolla mahdollista laskea useita variaatioita samasta skenaariosta pienillä lähtöarvojen muutoksilla. Tämä on mahdollista, etenkin jos tulosten käsittelyä saisi automatisoitua nykyistä enemmän, jolloin käyttäjä pääsee tutkimaan lopputuloksia simuloinneista ilman valtavaa työmäärää.

Työn tulosten perusteella voitiin havaita, että toiminnallisen palomitoituksen keinoin on mahdollista tutkia paineistusjärjestelmän mitoitusta kohteeseen. Vaikka työssä keskityttiin yhteen yksittäiseen esimerkkiin, on työstä kuitenkin merkittävää hyötyä myös muiden kohteiden suunnitteluratkaisuja pohdittaessa. Yhtenä hyvänä nyrkkisääntönä voitaisiin pitää sitä, että paineistusilma tulisi tuottaa sinne, mistä poistuminen alkaa, jolloin paineistusilma ikään kuin seuraisi poistujien reittiä. Toinen asia, jota tämän työn kautta voi soveltaa tulevissa kohteissa on se, että paineistusilmamäärä muodostuu todennäköisesti ylimitoitetuksi, jos laskenta tehdään puhtaasti SFS-EN-12101-6 mukaisesti.

Työn laatijan näkemyksen mukaan työstä saatuja oppeja on mahdollista hyödyntää tulevaisuuden suunnittelukohteissa. Erityisesti hyödyllistä oli huomata se, että pelkästään passiiviseen paloturvallisuuteen perustuva ratkaisu uloskäytävien suojaukseen ei välttämättä ole maanalaisissa tiloissa paras mahdollinen. Yhtenä työn oppina voisi pitää sitä, että mikäli rakennusta ei suunnittelussa huomioida kokonaisuutena, ei myöskään yksittäisen järjestelmän suunnittelu ole välttämättä tehokasta tai johda oikeaan lopputulokseen. Pahimmassa tapauksessa väärin ymmärretty ja toteutettu tekninen järjestelmä voi johtaa siihen, että se haittaa esimerkiksi muuten toimivasti suunniteltuja poistumisjärjestelyjä.

Lähteet

- 1 Hostikka, S., Mikkola, E., Rinne, T., Tillander, K. & Weckman, H. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. Espoo, 2005: VTT Tiedotteita.
- 2 Norppa, M. Helsingin kävelyn edistämishjelma: tutkimuskatsaus. Helsinki, 2020: Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala.
- 3 Sisäministeriö. Pelastuslaki 379/2011. www-lähde. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>>. Luettu 16.1.2022.
- 4 Ympäristöministeriö. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. www-lähde. <<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B038F68B2-575B-430C-B014-5C0484B6E46C%7D/135496>>. Luettu 16.1.2022.
- 5 NIST. Fire Dynamics Simulator (FDS). www-lähde. <<https://pages.nist.gov/fds-smv/>>. Luettu 13.2.2022.
- 6 McGrattan, K., McDermott, R., Vanella, M., Hostikka, S., Floyd, J. Fire Dynamics Simulator User's Guide. www-lähde. <https://github.com/firemodels/fds/releases/download/FDS6.7.7/FDS_User_Guide.pdf>. Luettu 19.1.2022.
- 7 Thunderhead Engineering Consultants, Inc. Pyrosim. www-lähde. <www.thunderheadeng.com/pyrosim>. Luettu 19.1.2022
- 8 Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. www-lähde. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>>. Luettu 16.1.2022.
- 9 Weckman, H. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. Tehtävä B: Poistumisturvallisuus. Espoo, 2005: VTT Tiedotteita.
- 10 Sun, X. Q., Hu, L. H., Li, Y. Z., Huo, R., Chow, W. K. Fong, N. K., Lui Gigi C. H., Li K. Y. 2009. Studies on smoke movement in stairwell induced by an adjacent compartment fire. Applied Thermal Engineering (29).
- 11 Drysdale, D. An Introduction to Fire Dynamics. Chichester, West Sussex, 2011: Wiley.
- 12 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. SFS-EN 12101-6 + AC – Savunhallintajärjestelmät. Osa 6: Paineistus. Helsinki, 2005. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

- 13 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 232-2020. Rakennusten savunhallinta – Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki, 2020: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 14 Mowrer, F. W. Enclosure Smoke Filling and Fire-Generated Environmental Conditions. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York, 2013: Springer.
- 15 Bekish, K. Numerical Simulations of Pressure effects in Passive Houses. Ghent, 2018: Ghent University.
- 16 Fang, B. J. Static Pressures Produced by Room Fires. Washington, D.C., 1980: Office of Policy Development and Research Development of Housing and Urban Development.
- 17 Hostikka, S. Tulipalon simulointi, Luentokalvot, 2015: Aalto-yliopisto.
- 18 Hietaniemi, J. Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa. Espoo, 2007. VTT.
- 19 Purser, D. A. 2016. Toxic Combustion Product Yields as a Function of Equivalence Ratio and Flame Retardants in Under-Ventilated Fires: Bench-Large-Scale Comparison, 2016. Polymers (8, 330).
- 20 Robbins, A. P., Wade, C. A. Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies. Porirua, Uusi-Seelanti, 2008. BRANZ Ltd.
- 21 Ympäristöministeriö. Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. www-lähde. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>>. Luettu 25.2.2022.
- 22 Vertia. Ilmanvuotoluku. www-lähde. <https://vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku/?campaign=15103727749&adgroup=132133863512&keyword=&device=c&gclid=CjwKCAjwi6WSBhA-EiwA6Niok5dEYZKmhHNS_Mw72x56wSUJAIkIRyKuxf9enEWmOig7RL6j-OS4ZBoCvIYQAvD_BwE>. Luettu 25.2.2022.
- 23 Fläkt Group Finland Oy. Smoke Master SMIA paineistusjärjestelmä - tekninen esite. www-lähde. <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/2a5c7f48-563b-462b-96e7-8f42897f0965?analytics=0>>. Luettu 23.3.2022.

Esimerkki FDS-koodista

```
&HEAD CHID='Esimerkki'/
&TIME T_END=1200.0/
&DUMP DT_SL3D=0.25/
&MISC TMPA=12.0/
&PRES MAX_PRESSURE_ITERATIONS=500, VELOCITY_TOLERANCE=0.05,
CHECK_POISSON=.TRUE, RELAXATION_FACTOR=0.5, PRESSURE_RELAX_TIME=3/

&MESH ID='MESH', IJK=57,566,10, XB=50.6,67.7,12.9,182.7,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH01', IJK=41,53,10, XB=38.3,50.6,166.8,182.7,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH02', IJK=57,566,10, XB=21.2,38.3,12.9,182.7,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH03', IJK=41,30,10, XB=38.3,50.6,86.4,95.4,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH04', IJK=41,42,10, XB=38.3,50.6,12.9,25.5,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH05', IJK=14,534,20, XB=67.7,69.8,88.5,168.6,-25.0,-22.0/
&MESH ID='MESH06', IJK=85,58,20, XB=67.7,80.45,168.6,177.3,-25.0,-
22.0/
&MESH ID='MESH07', IJK=42,22,214, XB=74.15,80.45,177.3,180.6,-
25.0,7.1/

&ZONE ID='A-PALOSULKU', XB=67.7,80.45,168.6,177.3,-25.0,-22.0,
LEAK_AREA=5.0E-3/
&ZONE ID='A-PRSH', XB=74.15,80.45,177.3,180.6,-25.0,7.1,
LEAK_AREA=0.019/
&ZONE ID='A-TUUBI', XB=67.7,69.8,88.5,168.6,-25.0,-22.0,
LEAK_AREA=0.0188/
&ZONE ID='AUTOSUOJA', XB=21.2,67.7,12.9,182.7,-25.0,-22.0,
LEAK_AREA=0.376/

&REAC ID='PROPYLENE',
FYI='FM SNL FDS5 Validation',
FUEL='REAC_FUEL',
FORMULA='C3H6',
CO_YIELD=0.06,
SOOT_YIELD=0.07/

&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=-0.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=0.25, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=257.75, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=258.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=444.75, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi TUUBI_PS_RAMP', T=445.25, F=-1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=-0.25, F=1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=0.25, F=-1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=201.75, F=-1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=202.25, F=1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=461.75, F=1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=462.25, F=-1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=989.75, F=-1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=990.25, F=1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=1019.75, F=1.0/
&RAMP ID='OVI PS_PRSH_RAMP', T=1020.25, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=-0.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=0.25, F=-1.0/
```

```

&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=196.75, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=197.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=399.75, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=400.25, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=1019.75, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=1020.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=1079.75, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_PS_RAMP', T=1080.25, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=-0.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=0.25, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=205.75, F=-1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=206.25, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=354.75, F=1.0/
&RAMP ID='Ovi AS_TUUBI_RAMP', T=355.25, F=-1.0/
&DEVC ID='VIRT_AS_POHJ_LÄNSI', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_POHJ_LÄNSI'/
&DEVC ID='VIRT_AS_POHJ_ITÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_ET_ITÄ'/
&DEVC ID='VIRT_AS_ET_ITÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_ET_ITÄ'/
&DEVC ID='VIRT_AS_ET_LÄNSI', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_ET_LÄNSI'/
&DEVC ID='VIRT_PRSH_U_ALA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='PRSH_U_ALA'/
&DEVC ID='VIRT_PRSH_U_YLÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='PRSH_U_YLÄ'/
&DEVC ID='VIRT_PS_PRSH_ALA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='PS_PRSH_ALA'/
&DEVC ID='VIRT_PS_PRSH_YLÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='PS_PRSH_YLÄ'/
&DEVC ID='VIRT_AS_PS_ALA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_PS_ALA'/
&DEVC ID='VIRT_AS_PS_YLÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_PS_YLÄ'/
&DEVC ID='VIRT_TUUBI_PS_ALA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='TUUBI_PS_ALA'/
&DEVC ID='VIRT_TUUBI_PS_YLÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='TUUBI_PS_YLÄ'/
&DEVC ID='VIRT_AS_TUUBI_ALA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_TUUBI_ALA'/
&DEVC ID='VIRT_AS_TUUBI_YLÄ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW',
DUCT_ID='AS_TUUBI_YLÄ'/
&DEVC ID='VIRT_SMIA', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='SMIA_KA-
NAVA'/
&DEVC ID='VIRT_SMIA01', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='SMIA01'/
&DEVC ID='VIRT_SMIA02', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='SMIA02'/
&CTRL ID='SMIA', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=30.0,50.0,
ON_BOUND='LOWER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='PRES_PS'/
&CTRL ID='invert', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.FALSE., INI-
TIAL_STATE=.TRUE., INPUT_ID='Ovi TUUBI_PS'/
&CTRL ID='Ovi TUUBI_PS', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', RAMP_ID='Ovi TU-
UBI_PS_RAMP', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='TIME'/
&CTRL ID='invert-2', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.FALSE., INI-
TIAL_STATE=.TRUE., INPUT_ID='OVI PS_PRSH'/
&CTRL ID='OVI PS_PRSH', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', RAMP_ID='OVI
PS_PRSH_RAMP', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='TIME'/
&CTRL ID='invert-3', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.FALSE., INI-
TIAL_STATE=.TRUE., INPUT_ID='Ovi AS_PS'/
&CTRL ID='Ovi AS_PS', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', RAMP_ID='Ovi
AS_PS_RAMP', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='TIME'/

```

```
&CTRL ID='invert-4', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.FALSE., INITIAL_STATE=.TRUE., INPUT_ID='Ovi AS TUUBI'/
&CTRL ID='Ovi AS TUUBI', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', RAMP_ID='Ovi AS TUUBI_RAMP', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='TIME'/
&DEVC ID='VIS_AS01_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=67.25,171.45,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_AS01_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=67.25,171.45,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS01_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.068029,171.364058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS01_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.068029,171.364058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS02_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=74.968029,177.064058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS02_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=74.968029,177.064058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS03_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.818029,168.964058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PS03_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.818029,168.964058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PRSH_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=74.968029,179.764058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PRSH_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=74.968029,179.764058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PRSH_väli', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=75.125,178.875,-10.825, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_PRSH_ULOS', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=74.525,178.275,4.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_TUUBI01_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.818029,168.364058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_TUUBI01_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.818029,168.364058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_TUUBI02_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.218029,100.414058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_TUUBI02_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.218029,100.414058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_AS02_19m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=67.318029,100.414058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='VIS_AS02_10m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=67.318029,100.414058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_AS01_10m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=67.25,171.45,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_AS01_19m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=67.25,171.45,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS01_19m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=68.068029,171.364058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS01_10m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=68.068029,171.364058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS02_10m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=74.968029,177.064058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS02_19m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=74.968029,177.064058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS03_10m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=68.818029,168.964058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PS03_19m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=68.818029,168.964058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PRSH_19m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=74.968029,179.764058,-23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PRSH_10m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=74.968029,179.764058,-24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
```

```

&DEVC ID='TEMP_PRSH_väli', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=75.125,178.875,-10.825, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_PRSH_ULOS', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=74.525,178.275,4.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_TUUBI01_19m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=68.818029,168.364058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_TUUBI01_10m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=68.818029,168.364058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_TUUBI02_10m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=68.218029,100.414058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_TUUBI02_19m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=68.218029,100.414058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_AS02_19m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=67.318029,100.414058,-23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='TEMP_AS02_10m', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=67.318029,100.414058,-24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_AS01_10m', QUANTITY='FED', XYZ=67.25,171.45,-24.0, ORI-
ENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_AS01_19m', QUANTITY='FED', XYZ=67.25,171.45,-23.1, ORI-
ENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS01_19m', QUANTITY='FED', XYZ=68.068029,171.364058,-
23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS01_10m', QUANTITY='FED', XYZ=68.068029,171.364058,-
24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS02_10m', QUANTITY='FED', XYZ=74.968029,177.064058,-
24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS02_19m', QUANTITY='FED', XYZ=74.968029,177.064058,-
23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS03_10m', QUANTITY='FED', XYZ=68.818029,168.964058,-
24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PS03_19m', QUANTITY='FED', XYZ=68.818029,168.964058,-
23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PRSH_19m', QUANTITY='FED', XYZ=74.968029,179.764058,-
23.1, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PRSH_10m', QUANTITY='FED', XYZ=74.968029,179.764058,-
24.0, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PRSH_väli', QUANTITY='FED', XYZ=75.125,178.875,-10.825,
ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_PRSH_ULOS', QUANTITY='FED', XYZ=74.525,178.275,4.2, ORI-
ENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='FED_TUUBI01_19m', QUANTITY='FED', XYZ=68.818029,168.364058,-
23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_TUUBI01_10m', QUANTITY='FED', XYZ=68.818029,168.364058,-
24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_TUUBI02_10m', QUANTITY='FED', XYZ=68.218029,100.414058,-
24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_TUUBI02_19m', QUANTITY='FED', XYZ=68.218029,100.414058,-
23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_AS02_19m', QUANTITY='FED', XYZ=67.318029,100.414058,-
23.1, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='FED_AS02_10m', QUANTITY='FED', XYZ=67.318029,100.414058,-
24.0, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='PRES_PS', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=74.225,173.175,-23.0/
&DEVC ID='PRES_TUUBI', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=68.825,146.175,-23.0/
&DEVC ID='PRES_PRSH', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=74.975,177.975,-23.0/
&DEVC ID='PRES_PRSH_SMIA', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=75.05,178.5,-22.9/
&DEVC ID='TIME', QUANTITY='TIME', XYZ=50.6,12.9,-25.0/

&MATL ID='CONCRETE',
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',

```

```
SPECIFIC_HEAT=1.04,  
CONDUCTIVITY=1.8,  
DENSITY=2280.0/  
  
&SURF ID='Betoni',  
COLOR='GRAY 60',  
DEFAULT=.TRUE.,  
BACKING='VOID',  
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.3/  
&SURF ID='Global',  
COLOR='WHITE'/  
&SURF ID='PALO',  
COLOR='RED',  
HRRPUA=1071.428571,  
RAMP_Q='PALO_RAMP_Q',  
TMP_FRONT=300.0/  
  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=10.0, F=2.00939E-4/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=20.0, F=8.03755E-4/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=30.0, F=1.808449E-3/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=40.0, F=3.215021E-3/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=50.0, F=5.02347E-3/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=60.0, F=7.233796E-3/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=70.0, F=9.846001E-3/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=80.0, F=0.01286/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=90.0, F=0.016276/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=100.0, F=0.020094/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=110.0, F=0.024314/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=120.0, F=0.028935/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=130.0, F=0.033959/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=140.0, F=0.039384/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=150.0, F=0.045211/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=160.0, F=0.05144/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=170.0, F=0.058071/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=180.0, F=0.065104/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=190.0, F=0.072539/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=200.0, F=0.080376/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=210.0, F=0.088614/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=220.0, F=0.097254/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=230.0, F=0.106297/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=240.0, F=0.115741/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=250.0, F=0.125587/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=260.0, F=0.135835/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=270.0, F=0.146484/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=280.0, F=0.157536/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=290.0, F=0.16899/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=300.0, F=0.180845/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=310.0, F=0.193102/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=320.0, F=0.205761/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=330.0, F=0.218822/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=340.0, F=0.232285/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=350.0, F=0.24615/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=360.0, F=0.260417/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=370.0, F=0.275085/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=380.0, F=0.28855/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=390.0, F=0.282237/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=400.0, F=0.276388/  
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=410.0, F=0.270988/
```


&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=420.0, F=0.266021/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=430.0, F=0.261474/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=440.0, F=0.257332/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=450.0, F=0.253582/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=460.0, F=0.250211/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=470.0, F=0.247208/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=480.0, F=0.24456/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=490.0, F=0.242256/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=500.0, F=0.240286/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=510.0, F=0.238639/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=520.0, F=0.237305/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=530.0, F=0.236275/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=540.0, F=0.23554/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=550.0, F=0.23509/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=560.0, F=0.234918/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=570.0, F=0.235016/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=580.0, F=0.235375/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=590.0, F=0.235988/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=600.0, F=0.236849/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=610.0, F=0.23795/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=620.0, F=0.239285/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=630.0, F=0.240848/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=640.0, F=0.242632/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=650.0, F=0.244632/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=660.0, F=0.246842/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=670.0, F=0.249258/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=680.0, F=0.251873/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=690.0, F=0.254683/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=700.0, F=0.257684/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=710.0, F=0.260871/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=720.0, F=0.264239/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=730.0, F=0.267785/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=740.0, F=0.271504/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=750.0, F=0.275393/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=760.0, F=0.279448/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=770.0, F=0.283665/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=780.0, F=0.288042/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=790.0, F=0.292574/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=800.0, F=0.29726/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=810.0, F=0.302095/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=820.0, F=0.307078/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=830.0, F=0.312205/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=840.0, F=0.317473/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=850.0, F=0.322881/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=860.0, F=0.328426/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=870.0, F=0.334105/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=880.0, F=0.339917/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=890.0, F=0.345859/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=900.0, F=0.351929/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=910.0, F=0.358125/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=920.0, F=0.364446/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=930.0, F=0.370889/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=940.0, F=0.377453/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=950.0, F=0.384136/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=960.0, F=0.390937/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=970.0, F=0.397854/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=980.0, F=0.404885/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=990.0, F=0.41203/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1000.0, F=0.419287/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1010.0, F=0.426654/

&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1020.0, F=0.434131/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1030.0, F=0.441715/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1040.0, F=0.449407/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1050.0, F=0.457205/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1060.0, F=0.465108/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1070.0, F=0.473115/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1080.0, F=0.481224/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1090.0, F=0.489436/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1100.0, F=0.497749/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1110.0, F=0.506162/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1120.0, F=0.514674/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1130.0, F=0.523286/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1140.0, F=0.531995/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1150.0, F=0.540802/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1160.0, F=0.549705/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1170.0, F=0.558704/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1180.0, F=0.567798/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1190.0, F=0.576987/
&RAMP ID='PALO_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.58627/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,168.0,168.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,168.0,168.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,159.6,160.2,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,159.6,160.2,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,151.2,151.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,151.2,151.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,142.8,143.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,142.8,143.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,134.4,135.0,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,134.4,135.0,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,126.0,126.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,126.0,126.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,117.9,118.5,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,117.9,118.5,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,109.5,110.1,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,109.5,110.1,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,104.1,104.7,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,104.1,104.7,-22.6,-22.0, SURF_ID='Bet-
oni'/
&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,95.7,96.3,-22.6,-22.0, SURF_ID='Beto-
ni'/
&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,95.7,96.3,-22.6,-22.0, SURF_ID='Beto-
ni'/

&OBST ID='Palkki', XB=44.6,67.7,87.3,87.9,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,44.6,87.3,87.9,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,76.2,76.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,76.2,76.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,67.8,68.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,67.8,68.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,59.4,60.0,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,59.4,60.0,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,51.0,51.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,51.0,51.6,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,42.6,43.2,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,42.6,43.2,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,34.2,34.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,34.2,34.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,26.1,26.7,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.3,26.1,26.7,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=44.6,67.7,13.2,13.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,44.6,13.2,13.8,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=50.6,67.7,173.7,174.3,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=45.8,67.7,181.8,182.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,45.8,181.8,182.4,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Palkki', XB=21.2,38.6,173.7,174.3,-22.6,-22.0, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,2.75,3.05, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=75.65,75.95,179.1,180.3,-25.0,-24.7, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-24.85,-24.55, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-24.7,-24.4, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-24.55,-24.25, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-24.4,-24.1, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-24.25,-23.95, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-24.1,-23.8, RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-23.95,-23.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-23.8,-23.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-23.65,-23.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-23.2,-22.9,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-23.05,-22.75,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-22.9,-22.6,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-22.75,-22.45,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-22.6,-22.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-22.45,-22.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-22.3,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-22.15,-21.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-22.0,-21.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-21.7,-21.4,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-21.55,-21.25,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-21.4,-21.1,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-21.25,-20.95,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-21.1,-20.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-20.95,-20.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-20.8,-20.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-20.65,-20.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-20.5,-20.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-20.05,-19.75,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-19.9,-19.6,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-19.75,-19.45,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-19.6,-19.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-19.45,-19.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-19.3,-19.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-19.15,-18.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-19.0,-18.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-18.85,-18.55,
SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-18.4,-18.1,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-18.25,-17.95,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-18.1,-17.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-17.95,-17.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-17.8,-17.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-17.65,-17.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-17.5,-17.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-17.35,-17.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-17.2,-16.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-16.9,-16.6,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-16.75,-16.45,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-16.6,-16.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-16.45,-16.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-16.3,-16.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-16.15,-15.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-16.0,-15.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-15.85,-15.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-15.7,-15.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-15.25,-14.95,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-15.1,-14.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-14.95,-14.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-14.8,-14.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-14.65,-14.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-14.5,-14.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-14.35,-14.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-14.2,-13.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-14.05,-13.75,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-13.75,-13.45,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-13.6,-13.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-13.45,-13.15,
SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-13.3,-13.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-13.15,-12.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-13.0,-12.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-12.85,-12.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-12.7,-12.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-12.55,-12.25,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-12.25,-11.95,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-12.1,-11.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-11.95,-11.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-11.8,-11.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-11.65,-11.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-11.5,-11.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-11.35,-11.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-11.2,-10.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-11.05,-10.75,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-10.75,-10.45,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-10.6,-10.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-10.45,-10.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-10.3,-10.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-10.15,-9.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-10.0,-9.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-9.85,-9.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-9.7,-9.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-9.55,-9.25,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-9.1,-8.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-8.95,-8.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-8.8,-8.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-8.65,-8.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-8.5,-8.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-8.35,-8.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/

&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-8.2,-7.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-8.05,-7.75,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-7.9,-7.6,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-7.6,-7.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-7.45,-7.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-7.3,-7.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-7.15,-6.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-7.0,-6.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-6.85,-6.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-6.7,-6.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-6.55,-6.25,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-6.4,-6.1,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-6.1,-5.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-5.95,-5.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-5.8,-5.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-5.65,-5.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-5.5,-5.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-5.35,-5.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-5.2,-4.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-5.05,-4.75,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-4.9,-4.6,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-4.6,-4.3,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-4.45,-4.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-4.3,-4.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-4.15,-3.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-4.0,-3.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-3.85,-3.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-3.7,-3.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-3.55,-3.25,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST_ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-3.4,-3.1,
SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,-2.95,-2.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,-2.8,-2.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,-2.65,-2.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,-2.5,-2.2,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,-2.35,-2.05,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,-2.2,-1.9,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,-2.05,-1.75,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,-1.9,-1.6,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,-1.75,-1.45,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,-1.45,-1.15,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,-1.3,-1.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,-1.15,-0.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,-1.0,-0.7,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,-0.85,-0.55,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,-0.7,-0.4,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,-0.55,-0.25,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,-0.4,-0.1,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,177.6,178.8,-0.25,0.05,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=75.95,76.25,179.1,180.3,0.05,0.35,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,179.1,180.3,0.2,0.5,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,179.1,180.3,0.35,0.65,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,179.1,180.3,0.5,0.8,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,179.1,180.3,0.65,0.95,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,179.1,180.3,0.8,1.1,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,179.1,180.3,0.95,1.25,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,179.1,180.3,1.1,1.4,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,179.1,180.3,1.25,1.55,
RGB=191,255,127, SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.35,78.65,177.6,178.8,1.55,1.85,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='Askelma', XB=78.05,78.35,177.6,178.8,1.7,2.0, SURF_ID='Beto-
ni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.75,78.05,177.6,178.8,1.85,2.15,
SURF_ID='Betoni'/

&OBST ID='Askelma', XB=77.45,77.75,177.6,178.8,2.0,2.3, SURF_ID='Beton
ni'/
&OBST ID='Askelma', XB=77.15,77.45,177.6,178.8,2.15,2.45,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.85,77.15,177.6,178.8,2.3,2.6, SURF_ID='Beto
ni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.55,76.85,177.6,178.8,2.45,2.75,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='Askelma', XB=76.25,76.55,177.6,178.8,2.6,2.9, SURF_ID='Beto
ni'/
&OBST ID='US', XB=74.3,74.45,177.45,180.6,3.2,7.1, SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='Auto', XB=50.9,55.7,156.6,158.7,-25.0,-24.4,
SURF_IDS='PALO','Betonni','Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-23.35,-23.2,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-20.2,-20.05,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-16.9,-16.75,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-13.75,-13.6,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-10.75,-10.6,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-7.6,-7.45,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-4.6,-4.45,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,-1.45,-1.3,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE02', XB=78.65,80.45,177.45,180.6,1.55,1.7,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-21.7,-21.55,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-18.55,-18.4,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-15.4,-15.25,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-12.4,-12.25,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,0.05,0.2,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,3.05,3.2,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-9.25,-9.1,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-6.25,-6.1,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TASANNE03', XB=74.15,75.95,177.45,180.6,-3.1,-2.95,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='SMIA_LEVY', XB=80.15,80.3,177.75,178.2,-22.75,-22.3,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='SMIA_LEVY02', XB=80.15,80.3,169.2,169.65,-22.75,-22.3,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TUUBI-PS_seinä', XB=68.45,69.65,168.6,168.75,-25.0,-22.9,
SURF_ID='Betonni', CTRL_ID='invert'/
&OBST ID='TUUBI-PS_seinä', XB=67.85,68.45,168.6,168.75,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betonni'/
&OBST ID='TUUBI-PS_seinä', XB=68.45,69.65,168.6,168.75,-22.9,-22.0,
SURF_ID='Betonni'/

&OBST ID='TUUBI-PS_seinä', XB=69.65,69.95,168.6,168.75,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='PRSH_seinä', XB=74.45,75.65,177.3,177.45,-25.0,-22.9,
COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='Betoni', CTRL_ID='invert-2'/
&OBST ID='PRSH_seinä', XB=74.15,74.45,177.3,177.45,-25.0,7.1,
COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='PRSH_seinä', XB=74.45,75.65,177.3,177.45,-22.9,7.1,
COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='PRSH_seinä', XB=75.65,80.45,177.3,177.45,-25.0,7.1,
COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,170.7,171.9,-25.0,-22.9,
SURF_ID='Betoni', CTRL_ID='invert-3'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,99.9,101.1,-25.0,-22.9,
SURF_ID='Betoni', CTRL_ID='invert-4'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,88.5,99.9,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,101.1,168.6,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,99.9,101.1,-22.9,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,168.6,170.7,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,171.9,177.3,-25.0,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/
&OBST ID='UK_seinä', XB=67.7,67.85,170.7,171.9,-22.9,-22.0,
SURF_ID='Betoni'/

&HOLE ID='PRSH_ovi', XB=74.3,74.45,177.6,178.8,3.2,5.3/

&VENT ID='Mesh Vent: MESH07 [XMIN]', SURF_ID='OPEN',
XB=74.15,74.15,177.3,180.6,3.2,7.1/
&VENT ID='AS_ET_01', SURF_ID='HVAC', XB=55.4,56.6,12.905,12.905,-
23.8,-22.6/
&VENT ID='AS_ET_02', SURF_ID='HVAC', XB=31.7,32.9,12.905,12.905,-
23.8,-22.6/
&VENT ID='AS_POHJ_01', SURF_ID='HVAC', XB=55.4,56.6,182.695,182.695,-
23.8,-22.6/
&VENT ID='AS_POHJ_02', SURF_ID='HVAC', XB=31.7,32.9,182.695,182.695,-
23.8,-22.6/
&VENT ID='AS_PS_01', SURF_ID='HVAC', XB=67.695,67.695,172.2,172.5,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='AS_PS_02', SURF_ID='HVAC', XB=67.695,67.695,172.2,172.5,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='AS_PS_03', SURF_ID='HVAC', XB=67.855,67.855,172.2,172.5,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='AS_PS_04', SURF_ID='HVAC', XB=67.855,67.855,172.2,172.5,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='AS_TUUBI_01', SURF_ID='HVAC', XB=67.695,67.695,101.4,101.7,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='AS_TUUBI_02', SURF_ID='HVAC', XB=67.695,67.695,101.4,101.7,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='AS_TUUBI_03', SURF_ID='HVAC', XB=67.855,67.855,101.4,101.7,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='AS_TUUBI_04', SURF_ID='HVAC', XB=67.855,67.855,101.4,101.7,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='PRSH_U_01', SURF_ID='HVAC',
XB=74.455,74.455,178.95,179.25,3.2,3.5/
&VENT ID='PRSH_U_02', SURF_ID='HVAC',
XB=74.455,74.455,178.95,179.25,5.0,5.3/

```
&VENT ID='PRSH_U_03', SURF_ID='HVAC',
XB=74.295,74.295,178.95,179.25,3.2,3.5/
&VENT ID='PRSH_U_04', SURF_ID='HVAC',
XB=74.295,74.295,178.95,179.25,5.0,5.3/
&VENT ID='PS_PRSH_01', SURF_ID='HVAC', XB=75.8,76.1,177.295,177.295,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='PS_PRSH_02', SURF_ID='HVAC', XB=75.8,76.1,177.295,177.295,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='PS_PRSH_03', SURF_ID='HVAC', XB=75.8,76.1,177.455,177.455,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='PS_PRSH_04', SURF_ID='HVAC', XB=75.8,76.1,177.455,177.455,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='TUUBI_PS_01', SURF_ID='HVAC', XB=68.0,68.3,168.595,168.595,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='TUUBI_PS_02', SURF_ID='HVAC', XB=68.0,68.3,168.595,168.595,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='TUUBI_PS_03', SURF_ID='HVAC', XB=68.0,68.3,168.755,168.755,-
25.0,-24.7/
&VENT ID='TUUBI_PS_04', SURF_ID='HVAC', XB=68.0,68.3,168.755,168.755,-
23.2,-22.9/
&VENT ID='SMIA01', SURF_ID='HVAC', XB=80.445,80.445,177.75,178.2,-
22.75,-22.3/
&VENT ID='SMIA02', SURF_ID='HVAC', XB=80.445,80.445,169.2,169.65,-
22.75,-22.3/

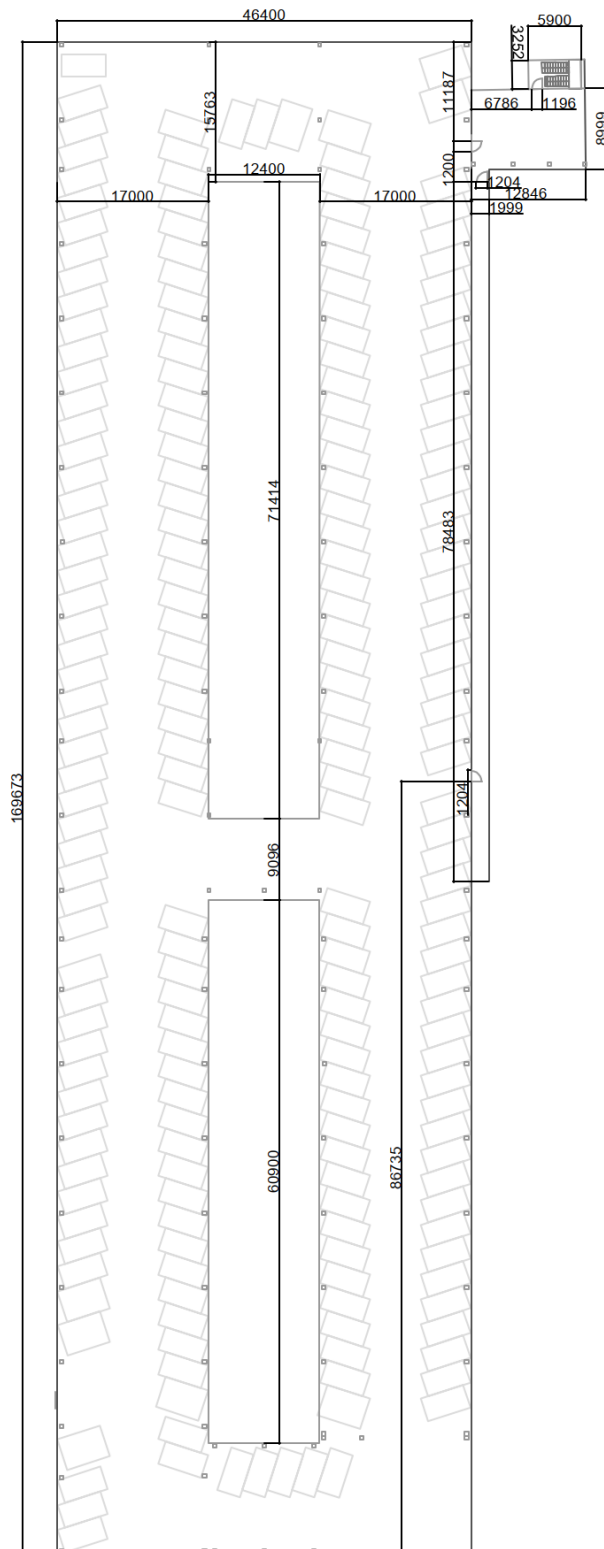
&HVAC ID='AS_ET_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_ET_ITÄ',
VENT_ID='AS_ET_01'/
&HVAC ID='AS_ET_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_ET_LÄNSI',
VENT_ID='AS_ET_02'/
&HVAC ID='AS_ET_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_ET_ITÄ', AMBI-
ENT=.TRUE., XYZ=56.0,10.905,-23.2/
&HVAC ID='AS_ET_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_ET_LÄNSI', AMBI-
ENT=.TRUE., XYZ=32.3,10.905,-23.2/
&HVAC ID='AS_ET_ITÄ', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.2, LOSS=100.0,100.0,
NODE_ID='AS_ET_03','AS_ET_01', LENGTH=2.0/
&HVAC ID='AS_ET_LÄNSI', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.2,
LOSS=100.0,100.0, NODE_ID='AS_ET_02','AS_ET_04', LENGTH=2.0/
&HVAC ID='AS_POHJ_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_POJH_ITÄ',
VENT_ID='AS_POHJ_01'/
&HVAC ID='AS_POHJ_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_POHJ_LÄNSI',
VENT_ID='AS_POHJ_02'/
&HVAC ID='AS_POHJ_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_POJH_ITÄ', AMBI-
ENT=.TRUE., XYZ=56.0,184.695,-23.2/
&HVAC ID='AS_POHJ_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_POHJ_LÄNSI', AMBI-
ENT=.TRUE., XYZ=32.3,184.695,-23.2/
&HVAC ID='AS_POHJ_LÄNSI', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.2,
LOSS=100.0,100.0, NODE_ID='AS_POHJ_04','AS_POHJ_02', LENGTH=2.0/
&HVAC ID='AS_POJH_ITÄ', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.2,
LOSS=100.0,100.0, NODE_ID='AS_POHJ_01','AS_POHJ_03', LENGTH=2.0/
&HVAC ID='AS_PS_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_PS_ALA',
VENT_ID='AS_PS_01'/
&HVAC ID='AS_PS_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_PS_YLÄ',
VENT_ID='AS_PS_02'/
&HVAC ID='AS_PS_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_PS_ALA',
VENT_ID='AS_PS_03'/
&HVAC ID='AS_PS_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_PS_YLÄ',
VENT_ID='AS_PS_04'/
&HVAC ID='AS_PS_ALA', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='AS_PS_01','AS_PS_03', LENGTH=0.16/
```

```
&HVAC ID='AS_PS_YLÄ', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='AS_PS_02','AS_PS_04', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_TUUBI_ALA',  
VENT_ID='AS_TUUBI_01'/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_TUUBI_YLÄ',  
VENT_ID='AS_TUUBI_02'/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_TUUBI_ALA',  
VENT_ID='AS_TUUBI_03'/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='AS_TUUBI_YLÄ',  
VENT_ID='AS_TUUBI_04'/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_ALA', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='AS_TUUBI_01','AS_TUUBI_03', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='AS_TUUBI_YLÄ', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='AS_TUUBI_04','AS_TUUBI_02', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='PRSH_U_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PRSH_U_ALA',  
VENT_ID='PRSH_U_01'/  
&HVAC ID='PRSH_U_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PRSH_U_YLÄ',  
VENT_ID='PRSH_U_02'/  
&HVAC ID='PRSH_U_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PRSH_U_ALA',  
VENT_ID='PRSH_U_03'/  
&HVAC ID='PRSH_U_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PRSH_U_YLÄ',  
VENT_ID='PRSH_U_04'/  
&HVAC ID='PRSH_U_ALA', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='PRSH_U_01','PRSH_U_03', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='PRSH_U_YLÄ', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='PRSH_U_04','PRSH_U_02', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='PS_PRSH_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PS_PRSH_ALA',  
VENT_ID='PS_PRSH_01'/  
&HVAC ID='PS_PRSH_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PS_PRSH_YLÄ',  
VENT_ID='PS_PRSH_02'/  
&HVAC ID='PS_PRSH_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PS_PRSH_ALA',  
VENT_ID='PS_PRSH_03'/  
&HVAC ID='PS_PRSH_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='PS_PRSH_YLÄ',  
VENT_ID='PS_PRSH_04'/  
&HVAC ID='PS_PRSH_ALA', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='PS_PRSH_01','PS_PRSH_03', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='PS_PRSH_YLÄ', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='PS_PRSH_02','PS_PRSH_04', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='TUUBI_PS_ALA',  
VENT_ID='TUUBI_PS_01'/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='TUUBI_PS_YLÄ',  
VENT_ID='TUUBI_PS_02'/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='TUUBI_PS_ALA',  
VENT_ID='TUUBI_PS_03'/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='TUUBI_PS_YLÄ',  
VENT_ID='TUUBI_PS_04'/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_ALA', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='TUUBI_PS_01','TUUBI_PS_03', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='TUUBI_PS_YLÄ', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.012, PERIMETER=2.42,  
LOSS=5.0,5.0, NODE_ID='TUUBI_PS_02','TUUBI_PS_04', LENGTH=0.16/  
&HVAC ID='SMIA01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='SMIA01', VENT_ID='SMIA01'/  
&HVAC ID='SMIA_ULKO', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='SMIA_KANAVA', AMBI-  
ENT=.TRUE., XYZ=82.35,177.975,-22.525/  
&HVAC ID='SMIA_KANAVA', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.5, VOLUME_FLOW=2.0,  
TAU_VF=10.0, LOSS=100.0,100.0, NODE_ID='SMIA_ULKO','SMIA_T-HAARA',  
ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.9, CTRL_ID='SMIA'/  
&HVAC ID='SMIA02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='SMIA02', VENT_ID='SMIA02'/  
&HVAC ID='SMIA_T-HAARA', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='SMIA_KA-  
NAVA','SMIA01','SMIA02', XYZ=81.45,177.975,-22.525/
```

&HVAC ID='SMIA01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.35,
NODE_ID='SMIA01','SMIA_T-HAARA', LENGTH=1.005/
&HVAC ID='SMIA02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.35, NODE_ID='SMIA_T-
HAARA','SMIA02', LENGTH=8.608863/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=33.8/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=36.8/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=52.1/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=55.1/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=65.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=65.0/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=65.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=66.8/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=68.75/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=68.75/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=75.05/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=75.05/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=75.05/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=100.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=100.5/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=100.5/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=100.5/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=139.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=157.8/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=171.3/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=171.3/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=171.3/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=174.6/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=178.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=178.2/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=178.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=179.7/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=183.3/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=-22.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=-22.6/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=-22.6/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=-22.6/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=-22.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=-22.9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=-22.9/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=-22.9/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=-23.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=-23.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=-23.2/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=-23.2/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=-24.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=-24.1/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=-24.1/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=-24.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=178.2/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=179.7/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=179.7/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=179.7/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=183.3/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=174.6/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=77.45/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=178.95/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=177.75/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=169.05/
&TAIL /

Pohjakuva mitoilla



Kuva 1. Kohteen pohjakuva mittoineen