

Pasi Ryyppö

Paineistusjärjestelmän suunnittelu maanalaisille poistumisteille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

8.4.2018

Tekijä Otsikko	Pasi Ryyppö Paineistusjärjestelmän suunnittelu maanalaisille poistumisteille
Sivumäärä Aika	47 sivua + 2 liitettä 8.4.2018
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaaja	Yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on avata paineistusjärjestelmän käsitettä sekä luoda suunnitteluohje, jota voi käyttää tukena maanalaisten paineistusjärjestelmien suunnittelussa. Paineistusjärjestelmä lisää poistumisen turvallisuutta palon aikana.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin kirjallisuustutkimuksen pohjalta, sekä siinä hyödynnettiin kokemuksia äskettäin päättyneestä maanlaisesta metroasemahankkeesta. Työssä käytiin läpi paineistukseen liittyviä standardeja, mitoituskriteereitä, paineistusjärjestelmän toimintaperiaatetta ja sen komponentteja. Lopuksi käytiin läpi asioita, joita tulee ottaa huomioon maanalaisten poistumistien paineistussuunnittelussa.</p> <p>Ennen tätä opinnäytetyötä aiheesta ei ole löytynyt kovin kattavasti suunnitteluohjeita. Opinnäytetyön avulla onnistuttiin tuomaan laajemmin esille ratkaisuja eri ongelmakohtiin liittyen maanalaisten poistumisteiden paineistusjärjestelmään. Työssä korostettiin oleellisia asioita, joiden huomiotta jättäminen voi pilata toimivan paineistuksen ja heikentää poistumisen turvallisuutta tulipalon aikana.</p> <p>Tämän opinnäytetyön avulla paineistusjärjestelmien suunnittelijoilla on tulevaisuudessa paremmat mahdollisuudet tuottaa toimivia suunnitteluratkaisuja maanalaisille poistumisteille.</p>	
Avainsanat	Paineistusjärjestelmä, maanalaiset poistumistiet, EN-12101-6

Author Title Number of Pages Date	Pasi Ryyppö Designing Pressurisation System for Underground Escape Routes 47 pages + 2 appendices 8 April 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Building Services Engineering
Instructor	Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The aim of this final year project was to explain the concept of pressurisation system, a system that increases the safety of escape routes during fire, and to create a planning guide that can be used to support the design of underground pressurisation systems.</p> <p>The project was based on the literature and experience from a previous project which was an underground subway station. The literature consisted of standards and dimensioning criteria. The thesis focused on the operation of the pressurisation system, its components and its design in underground escape routes.</p> <p>Before this thesis, there have not been very comprehensive planning guidelines for the pressurisation systems of underground escape routes. The thesis successfully managed to bring out a number of problems related to the underground pressurisation system. Essential issues were emphasized in the work, and ignoring those issues it could ruin an effective pressurisation system.</p> <p>With this thesis, designers of pressurisation systems will have in the future better opportunities to produce functional design solutions for underground escape routes.</p>	
Keywords	Pressurisation system, underground escape routes, EN12101-6

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Poistuminen tulipalossa	2
2.1	Poistumisen vaiheet	2
2.2	Havaitsemisajan arviointi	3
2.3	Reagointiajan arviointi	3
2.4	Siirtymisajan arviointi	4
2.5	Poistumiseen kuuluva kokonaisaika ja poistumisen onnistuminen	6
3	Paineistuksen tarkoitus ja merkitys poistumistiellä	6
4	Paineistusjärjestelmän osat	10
5	Paineistuksen toimintaperiaate	12
6	Paineistuksen standardi	16
6.1	Paineistusluokat	16
6.2	Paineistusluokan A vaatimuksia	16
6.3	Paineistusluokan B vaatimuksia	17
6.4	Paineistusluokan C vaatimuksia	17
6.5	Paineistusluokan D vaatimuksia	18
6.6	Paineistusluokan E vaatimuksia	18
6.7	Paineistusluokan F vaatimuksia	18
6.8	Paineistusluokan C mitoituskriteerit	19
6.9	Maanalaisten tilojen alipaineistus	20
7	Savunhallintajärjestelmä	22
7.1	Savunhallintajärjestelmän osat	22
7.2	Savunpoistotasot	22
7.3	Paloilmoitinjärjestelmä	23
7.4	Sähköinen turvajärjestelmä	24
7.5	Ohjauskeskus	25
8	Paineistusjärjestelmän suunnittelu	26
8.1	Ilmanottoaukko	26
8.2	Puhaltimen suunnittelu	28
8.3	Poistumistieovet	31

8.3.1	Poistumistieovien leveys	31
8.3.2	Poistumistieoven aukaisu paineistettuun tilaan	32
8.3.3	Ovisulkimien vaikutus paineistukseen	33
8.4	Paineenalennuslaitteen suunnittelu	34
8.5	Puhalluspisteen ja purkuaukon sijoittelu	35
8.6	Äänenvaimennus	37
8.7	Kanaviston tilavaraussuunnittelu	37
8.8	Muuta suunnittelussa huomioitavaa	39
9	Paineistusjärjestelmän mittaukset ja säätö esimerkkikohteessa	39
9.1	Esimerkkikohteen hissiaula	39
9.2	Ilmanvirtausnopeuksien mittaus oviaukossa	41
9.3	Paine-erot mittaustoimenpiteiden aikana	42
10	Yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Paineistusluokkien A, B, C, D, E, F mukaisia mitoituskriteereitä	
	Liite 2. Kuivahälytysventtiilin toimintaperiaate	

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe on maanalaisten poistumistien paineistus. Onnistuneella paineistusjärjestelmällä voidaan lisätä poistumisen turvallisuutta tulipalon aikana.

Opinnäytetyö tehtiin työnantajalleni Granlund Oy:lle. Granlund Oy on mukana useissa maanalaisten kohteiden suunnitteluprojekteissa. Maanalaisten tilojen rakentaminen on viime vuosina vain kiihtynyt isojen infrahankkeiden sekä tiiviin kaupunkirakentamisen yhteydessä.

Opinnäytetyö tehtiin oman työn ohella. Työn tavoitteena on avata paineistusjärjestelmän käsitettä sekä luoda suunnitteluopas, jota voi käyttää tukena maanalaisten paineistusjärjestelmien suunnittelussa.

Aiheen ympärillä oleva ongelma on, että poistumisteiden paineistuksesta ei ole olemassa kovinkaan paljon suunnitteluohjeita. Usein olemassa oleva suunnittelumateriaali löytyy laitetoimittajien paineistamiseen liittyvien tuotteiden esitteistä, joissa opastetut suunnitteluratkaisut soveltuvat enemmän maanpäällisiin rakennuksiin. Maanalaisissa kohteissa samoilla suunnitteluratkaisuilla ei päästä välttämättä hyvään lopputulokseen, kun poistumistiet ulottuvat syvälle maan alle.

Paineistukseen on olemassa standardi, mutta siitä ei saa vielä selkeää käsitystä, mitä asioita paineistuksessa tulee huomioida jo suunnittelun alkuvaiheessa. Maanalaisissa kohteissa paineistusjärjestelmä on kallis ja tilaa vievä järjestelmä, joka väärin suunniteltuna voi olla tehoton ja jopa heikentää poistumisturvallisuutta.

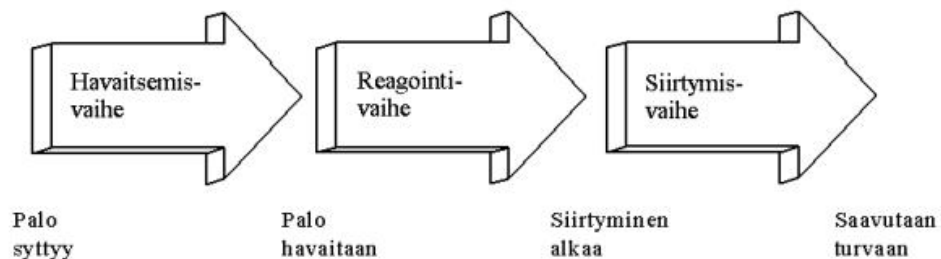
Tässä työssä viitataan välillä esimerkkitilanteena olevaan metroasemaan, joka on osa vuonna 2017 valmistunutta Länsimetro-hanketta. Länsimetrohanke sisälsi yhteensä kahdeksan metroasemaa, joiden poistumistiet varustettiin paineistusjärjestelmillä.

2 Poistuminen tulipalossa

2.1 Poistumisen vaiheet

Tulipaloissa vaaraa aiheuttavat savun sisältämät myrkylliset yhdisteet sekä palossa syntyvä kuumuus. Vaaran välttämiseksi tulee ihmisten pystyä poistumaan palavasta rakennuksesta riittävän nopeasti. Jos olosuhteet rakennuksen sisällä heikkenevät liian nopeasti, eivät rakennuksessa oleskelevat ihmiset ehdi ajoissa ulos. Poistumisen keskeytymisen syynä voivat olla savumyrkytys, palovammat tai se, että rakennuksen poistumisreitille on levinnyt runsaasti savua. [11, s.16.]

Paineistusjärjestelmän merkittävyyden ymmärtämiseksi on tärkeää tiedostaa poistumisen eri vaiheita tulipalon aikana. Ihmisten poistuminen rakennuksesta tulipalon sattuessa voidaan jakaa kolmeen välittömästi toisiaan seuraavaan vaiheeseen. Kuvan 1 mukaisesti ne ovat havaitsemisvaihe, reagointivaihe ja siirtymisvaihe. [1, s.66.]



Kuva 1. Poistumisen vaiheet [6].

Havaitsemisvaihe alkaa tulipalon syttymisestä ja päättyy kun ihmiset tulevat tietoisiksi palosta. Reagointivaiheessa ihmiset alkavat havaitsemisvaiheen herätteestä toimimaan eri tavoilla, kunnes lopulta päättävät poistumisesta. Siirtymisvaihe on varsinaiseen poistumiseen kuuluva aika siihen asti, kunnes kaikki ihmiset ovat päässeet turvallisesti ulos rakennuksesta. [1, s.66.]

Kaavan 1 poistumiseen kuluva kokonaisaika t_p (s) on näiden vaiheiden summa.

$$t_p = t_a + t_b + t_m \quad (1)$$

t_a on havaitsemisvaiheen kesto-aika (s)

t_b on reagointivaiheenvaiheen kesto-aika (s)

t_m on siirtymisvaiheen kesto aika (s).

2.2 Havaitsemisajan arviointi

Havaitsemisajan arviointiin voidaan käyttää eri turvajärjestelmien reagointiaikaa:

- paloilmoinnin toiminta-aikaa
- sprinklerin toiminta-aikaa
- kuulutuksen aikaista ajankohtaa.

Muissa kuin edellä mainituissa tapauksissa käytetään lieskahdusaikaa tai kymmentä minuuttia tai aikaa, jolloin savutiheys tilassa ylittää arvon $0,5 \text{ dB/m}$ ($0,11 \text{ m}^{-1}$).

Havaitsemisvaiheen pituus voidaan usein arvioida palonkehitysmallien perusteella. Maanalaiset julkiset tilat on yleensä varustettu automaattisin paloilmoinnin, joten havaitsemisvaiheen pituus voidaan arvioida niiden toiminta-aikojen perusteella.

Kohteissa, joissa ei ole paloilmoinnista, havaitsemisvaiheen pituus riippuu siitä, milloin palo havaitaan, esimerkiksi haju-, näkö- tai kuuloaistimuksen perusteella. [1, s.70.]

2.3 Reagointiajan arviointi

Reagointiajan arvioinnissa tulee ottaa huomioon poistuvien henkilöiden edellytykset toimia heidän tultua tietoisiksi palosta. Tähän vaikuttaa tilan käyttötapa ja siihen liittyen oletetut henkilöjakautumat. [1, s.70.]

Julkisissa tiloissa, kuten metroasemilla ja maanalaisissa paikoitushalleissa, voidaan olettaa, että ihmisillä on suhteellisen hyvät edellytykset toimia tultuaan tietoisiksi tulipalosta. Näin ei välttämättä ole sairaaloiden vuodeosastoilla ja muissa vastaavanlaisissa tiloissa.

Reagointivaiheen aikana esiintyy sekalaista toimintaa. Ihmiset pyrkivät esimerkiksi selvittämään, onko hälytys oikea ja millainen palo on kyseessä. Paloa yritetään ehkä sammuttaa, kerätään omaisuutta tai jäädään kuvaamaan tilannetta. Tähän vaiheeseen

vaikuttaa myös ihmisten ryhmäkäyttäytyminen, jota on vaikea ennustaa. [6, s.96; 11, s.21.]

Reagointivaiheessa ihmisten päätöstä lähteä oikeaan suuntaan voidaan auttaa automaattisilla toimenpiteillä, kuten esimerkiksi äänentoistojärjestelmän hätäkuulutuksilla, erilaisilla sähköisillä opastusnäyttöillä ja pakko-ohjaamalla liukuportaat kulkemaan palosta pois päin.

2.4 Siirtymisajan arviointi

Yleensä siirtymisvaiheen kesto on vain murto-osa kokonaispoistumisajasta. Maanalaisista tiloista poistuminen on kuitenkin hitaampaa. Osastoidut uloskäytävät kulkevat alhaalta ylöspäin, mikä hidastaa siirtymisvaihetta.

Tyypillinen kävelynopeuden väheneminen portaikossa on noin 50 % verrattuna tasaisella alustalla kävelyyn. [1, s.70.]

Siirtymisajan arvioinnissa tulee ottaa huomioon poistuvien henkilöiden kyky poistua. Taulukossa 1 esitetään tietoja kävelynopeuksista tasaisella alustalla sekä portaikossa. Portaikossa kävelynopeuteen vaikuttaa mm. portaikon kaltevuus. Kävelynopeus laskee lineaarisesti portaikon kaltevuuden jyrkentyessä.

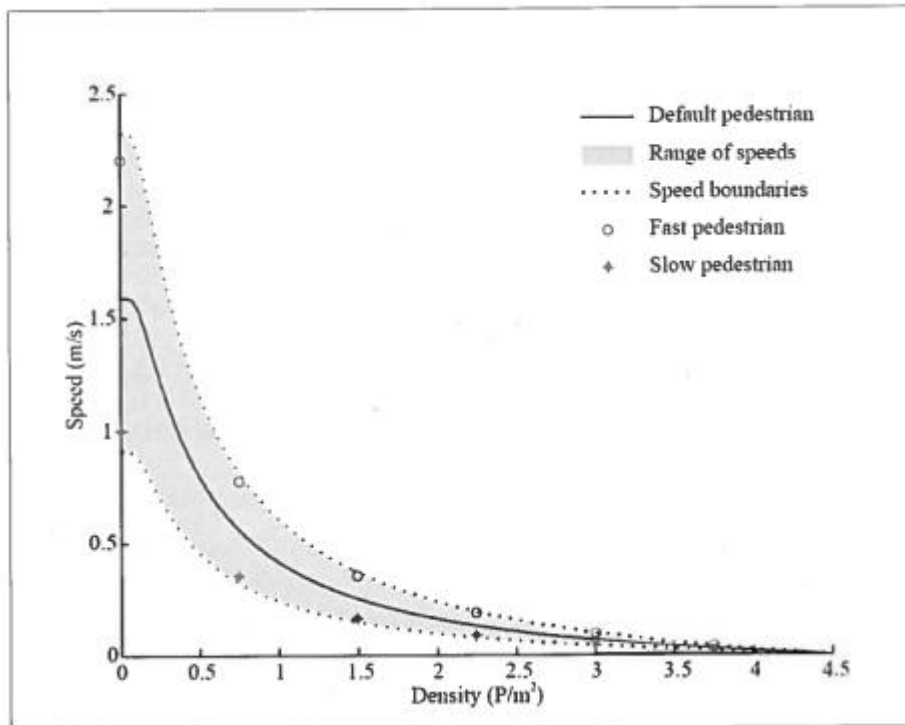
Taulukko 1. Henkilöryhmien kävelynopeudet portaissa sekä tasaisella alustalla [1, s.71].

Kävelytapa	Suunta	Portaikokaltevuus (°)	25–60-vuotiaat ^a	60–81-vuotiaat
normaali	ylös	38,8	0,48 (0,10)	0,44 (0,12)
normaali	ylös	35	0,56 (0,13)	0,52 (0,12)
normaali	ylös	30,5	0,63 (0,14)	0,59 (0,13)
normaali	ylös	24,6	0,76 (0,17)	0,73 (0,17)
normaali	alas	38,8	0,59 (0,14)	0,47 (0,13)
normaali	alas	35	0,65 (0,14)	0,58 (0,16)
normaali	alas	30,5	0,74 (0,17)	0,64 (0,15)
normaali	alas	24,6	0,87 (0,19)	0,80 (0,23)
<i>normaali</i>	<i>vaaka</i>	<i>0</i>	<i>1,40 (0,17)</i>	<i>1,31 (0,23)</i>
nopea	ylös	38,8	0,78 (0,24)	0,61 (0,18)
nopea	ylös	35	0,91 (0,31)	0,69 (0,20)
nopea	ylös	30,5	0,97 (0,28)	0,79 (0,20)
nopea	ylös	24,6	1,16 (0,31)	1,00 (0,23)
nopea	alas	38,8	0,87 (0,20)	0,62 (0,17)
nopea	alas	35	0,92 (0,19)	0,70 (0,18)
nopea	alas	30,5	1,08 (0,23)	0,84 (0,18)
nopea	alas	24,6	1,18 (0,20)	1,01 (0,26)
<i>nopea</i>	<i>vaaka</i>	<i>0</i>	<i>1,84 (0,15)</i>	<i>1,71 (0,29)</i>

^a kävelynopeuden keskiarvo ja hajonta (suluissa) on annettu yksikössä (m/s).

Taulukon 1 arvot osoittavat, että ylöspäin mentäessä kävelynopeus on hitaampaa. Tämän kaltaiset taulukkoarvot eivät kuitenkaan ota huomioon, että liikuttaessa ylöspäin useita kymmeniä metrejä kävelynopeus pienenee väsymyksen seurauksena. Osa poistuvista ihmisistä jää portaiden lepotasolle keräämään voimia. Korkeaa porraskuilua pitkin kuljettavaa poistumisaikaa ei voi laskea pelkästään tasaisen kävelynopeuden keskiarvolla.

Myös poistuvien henkilöiden lukumäärä vaikuttaa kävelynopeuteen. Esimerkiksi metro-asemilla henkilömäärät ovat suuria, jolloin poistumisreiteille syntyy väistämättä ruuhkia. Kuvassa 2 on esitetty henkilötiheyden vaikutus kävelynopeuteen tasaisella alustalla.



Kuva 2. Kävelynopeus tasaisella alustalla ihmisvirran funktiona [1].

2.5 Poistumiseen kuuluva kokonaisaika ja poistumisen onnistuminen

Poistumiseen kuuluva kokonaisaika muodostuu edellä mainittujen vaiheiden yhteenlasketusta kestoajasta. Poistumisen mitoittaminen voidaan arvioida poistumiseen käytetyllä ajalla ja verrataan sitä poistumiseen käytettävissä olevaan aikaan. Käytettävissä oleva aika on kriittisten olosuhteiden syntymiseen kuluva aika. Käytetyn ja käytettävissä olevan poistumisajan välillä tulee olla riittävä turvamarginaali. Turvallisen poistumisen varmentamiseksi poistuvia ihmisiä tulee ohjata kulkureittejä pitkin niille osastoiduille uloskäytävälle, joissa voidaan turvata puhdas korvausilman saanti esimerkiksi paineistuksen avulla. [1, s.74.]

3 Paineistuksen tarkoitus ja merkitys poistumistiellä

Paineistuksen tarkoituksena on suojata henkilöiden poistuminen rakennuksesta kun tulipalo syttyy. Paineistusrakenteilla saadaan aikaan sellainen paine suojattavalle poistumisreitille, että savu ei pääse leviämään sinne.

Maanalaisissa tiloissa paineistuksen merkitys korostuu siitä syystä, että tulipalossa savu pyrkii leviämään käyttäen myös reittejä, joista osa on poistumiseen tarkoitettuja. [6, s.12.]

Maanalaisissa tiloissa uloskäytävät ovat usein korkeita ylöspäin johtavia porraskäytäviä, joihin syntyvä hormivaikutus imee ympäröivistä tiloista savua. Yleisesti maanalaisista tiloista savunpoistaminen on muutenkin vaikeampaa kuin maanpäällisistä tiloista.

Palon syttyessä porrashuoneiden paineistaminen antaa lisäaikaa turvalliselle poistumiselle. Paineistuksen onnistuminen kuitenkin edellyttää savunpoiston järjestämistä palavasta osastosta. Maanalaisissa tiloissa savunpoisto tarkoittaa lähes aina koneellisesti tuotettua savunpoistoa ja savunpoiston korvausilmaa.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n tekemässä paloskenaarioissa tutkittiin simulointien avulla porrashuoneen paineistusta tilanteessa, jossa autopalo syttyy lähellä porrashuoneen alaovea. Paineistusjärjestelmän puhallin oli suunniteltu seuraavasti:

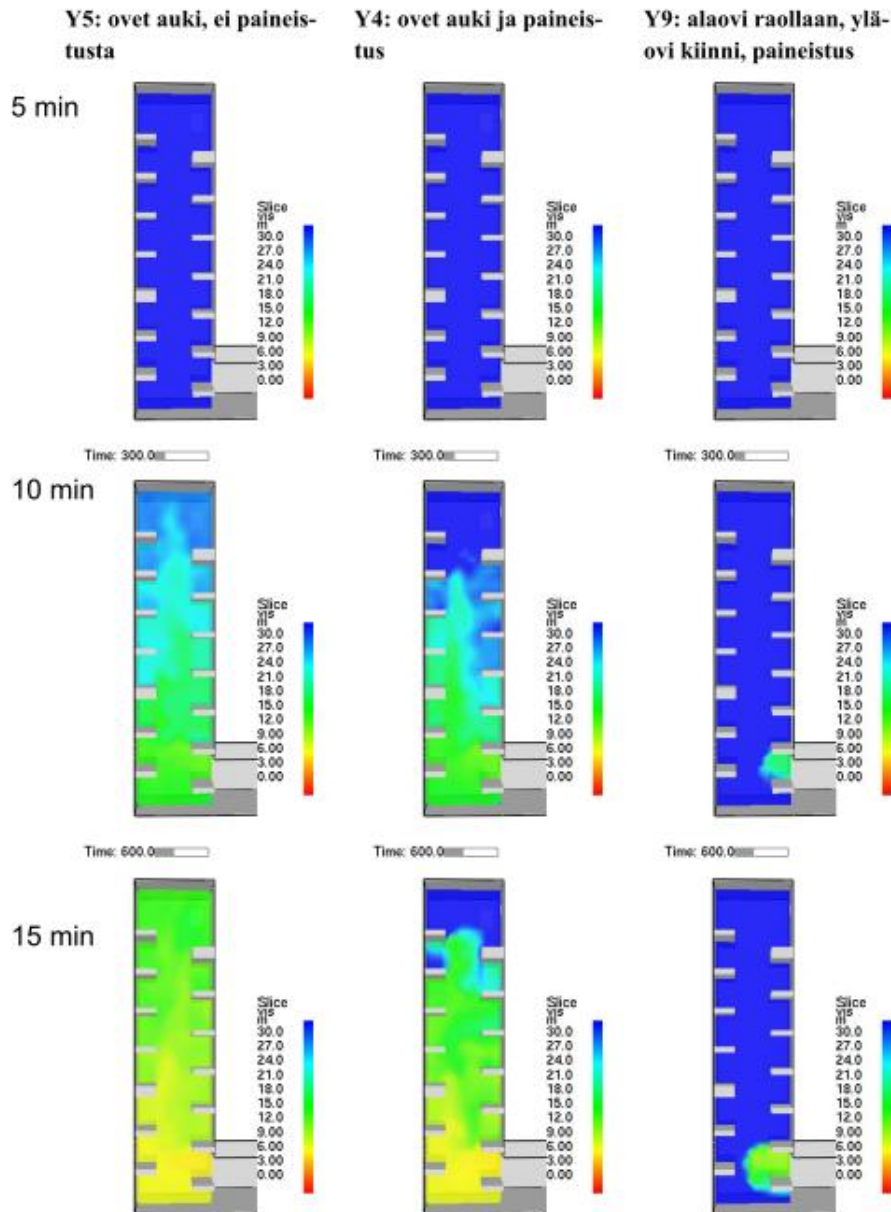
- Paineistuspuhallin oli sijoitettu porrashuoneen yläpäähän.
- Taajuusmuuttajaohjattu puhallin pyrki ylläpitämään +50 Pa:n ylipainetta
- Ilmavirta oli mitoitettu siten, että 2,1 m²:n oviaukkoon puhallin pyrki tuottamaan 0,75 m/s virtausnopeuden. [6, s.25.]

Kuvissa 3 ja 4 vertaillaan näkyvyyttä (m) porrashuoneessa kolmessa eri tilanteessa:

Y5: Porrashuoneen ovet ovat auki, eikä porrashuoneessa ole paineistusta. Alaovi on aluksi suljettu mutta aukeaa palohälytyksen tapahtuessa, n. 2 min kuluttua syttymisestä.

Y4: Porrashuoneen yläovet ovat auki, ja porrashuoneessa on paineistus. Mitoitusperusteiden mukaan ylipaineistuksen ei tarvitse toimia täysin tyydyttävästi tilanteessa, jossa myös yläovet ovat auki.

Y9: Porrashuoneen yläovi on suljettu ja alaovi raollaan. Porrashuoneessa on paineistus ja pysäköintihallista on pienet vuodot ajotunnelin kautta ulkoilmaan. Skenaario vastaa tilannetta, jossa paineistuksen pitäisi mitoitusperusteiden mukaan toimia.

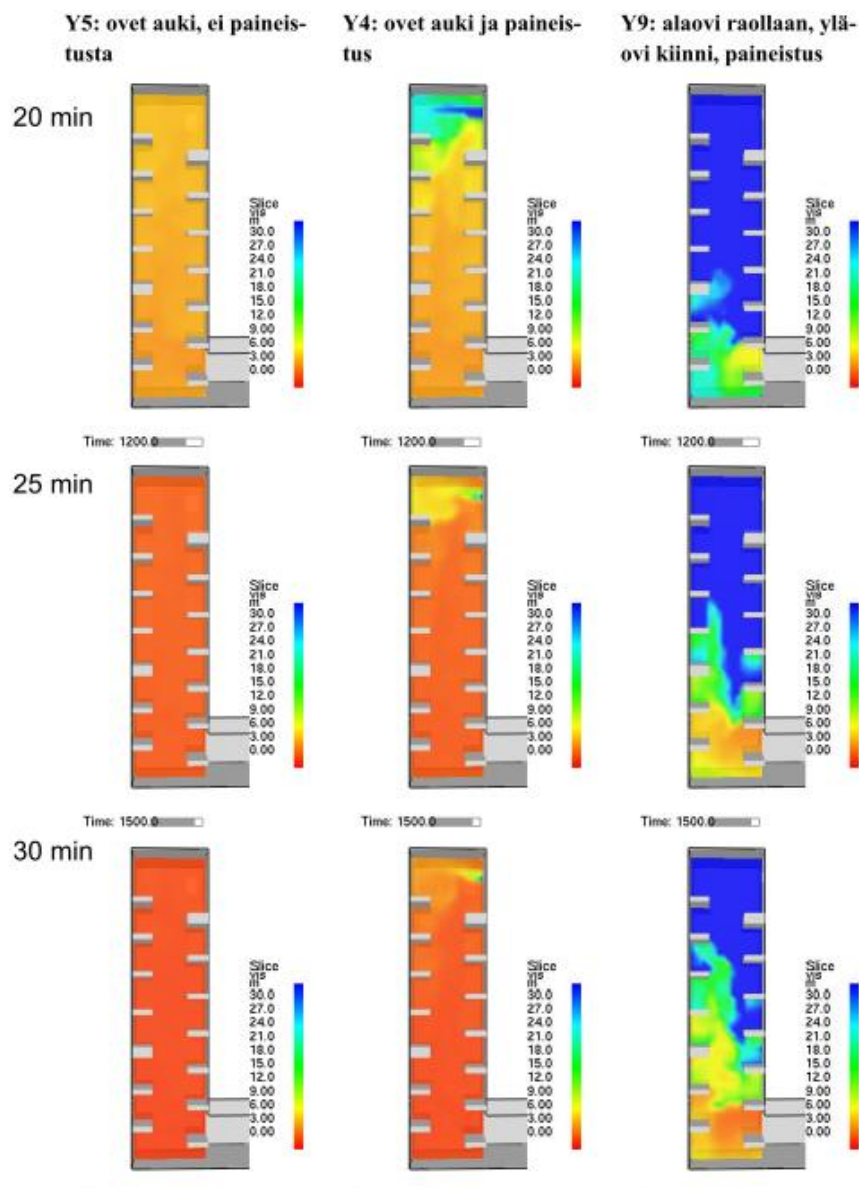


Kuva 3. Näkyvyys (m) porrashuoneessa aikajaksolla 5–15 min. [6.]

Kuvasta 3 nähdään, että skenaarioissa Y4 ja Y5 porrashuone täyttyy savulla 10 minuutissa. Jos yläovi on auki ja puhallin on sijoitettu avoimen yläoven lähelle, kuten skenaariossa Y4, on paineistuksesta erittäin vähän hyötyä portaan alaosassa. Puhaltimen tuottama ilmavirta karkaa suoraan avoimesta ovesta ulos.

Markkinoilla olevat paineistamiseen liittyvät valmiit tuoteratkaisut opastavat sijoittamaan puhallinyksikön porrashuoneen yläosaan. Porrashuoneen yläosassa ne toimivatkin hyvin maanpäällisissä rakennuksissa, joissa ulko-ovi on katutasolla. Maanalaisissa

porrashuoneissa puhaltimen sijoittaminen portaan yläosaan voi aiheuttaa skenaarion Y4 mukaisen tilanteen.



Kuva 4. Näkyvyys (m) porrashuoneessa aikajaksolla 20–30 min. [6.]

Kuvasta 4 nähdään, että skenaariossa Y9 hyvä näkyvyys säilyy porrashuoneessa 15–20 minuutin ajan, kunnes porrashuoneen alaosa alkaa täyttyä sakeammasta savusta.

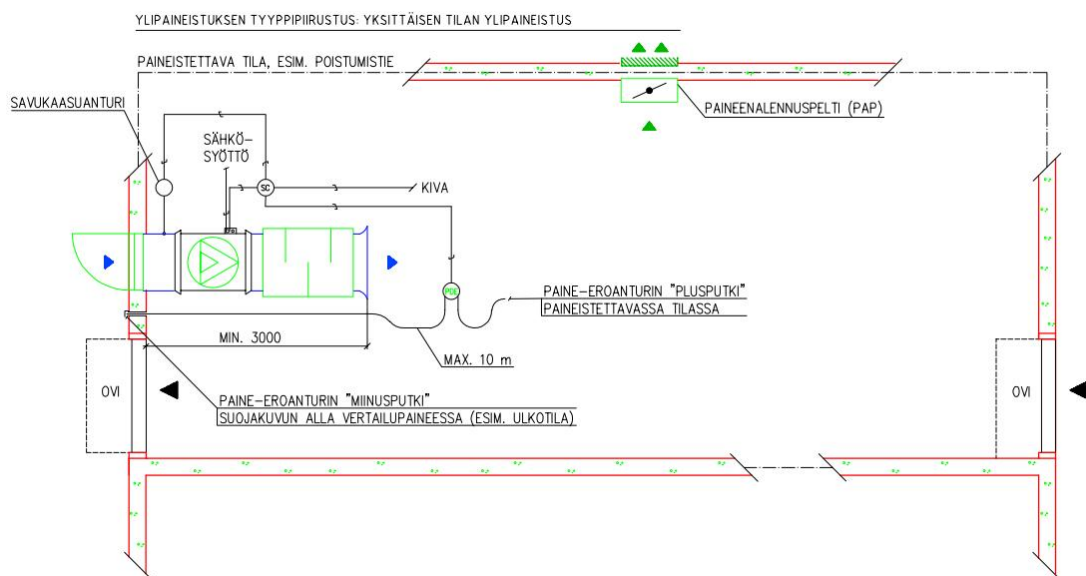
Skenaario Y9 osoittaa, että tulipalon kehittyessä kuumenevien savukaasujen virtausnopeus kasvaa niin suureksi, että paineistus ei pysty estämään savun leviämistä porraskäytävään. Voidaan kuitenkin olettaa, että skenaariossa Y9 on ollut riittävästi aikaa turvalliseen poistumiseen, vaikka autopalo syttyi porrashuoneen vieressä. On epätoennäköistä, että muualta kuin autopalon vierestä kukaan poistuu juuri Y9-

poistumistieportaan kautta. Kattavilla äänievakuoinneilla ja opastimilla voidaan ohjata ihmiset kulkemaan pois päin palosta vaihtoehtoista poistumisreittiä pitkin.

4 Paineistusjärjestelmän osat

Paine-erolähetin ja paineen säätö

Paine-erolähetin on mittalaite, joka mittaa kahden eri tilan välistä paine-eroa. Paine-erolähettimeen liitetään kaksi mittausputkea; plusputki ja miinusputki. Näiden kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 5. Plusputki mittaa paineistettavan tilan ylipainetta ja miinusputki vertailutilan 0-painetta. Paine-erolähetin lähettää paine-erotiedon automaatiojärjestelmään.



Kuva 5. Paineistusjärjestelmän pääkomponentit

Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja säätää puhaltimen kierrosnopeutta mitatun paine-erotiedon perusteella siten, että aseteltu paine-ero saavutetaan paineistettavassa tilassa. Paineistuspuhallin käynnistyy aina paine-erosäädölle. Kuvassa 5 taajuusmuuttaja on esitetty tunnuksella SC.

Paineistuksessa voidaan käyttää taajuusmuuttajia, joissa ei ole ilman palotoimintoa eli Fire Mode toimintoa. Fire Mode toimintoa tarvitaan taajuusmuuttajissa, jotka ohjaavat savunpoistopuhaltimia.

Puhallin

Puhaltimen avulla saadaan paine-ero aikaan suojattavaan tilaan. Toisin kuin savunpoistopuhaltimet, paineistuspuhaltimet toimivat normaaleissa lämpötiloissa eikä niillä ole lämpötilankestovaatimuksia. Puhaltimelta vaadittava toiminta-aika on sama kuin muulla savunhallintajärjestelmällä, joten puhaltimen sähkönsyöttö- ja ohjauskaapelit tulee rakentaa turvajärjestelmän mukaisesti. [4, s.8.]

Paineistuksessa voidaan käyttää joko aksiaalipuhaltimia tai radiaalipuhaltimia. Molemmat puhallintyytit tarjoavat riittävän kapasiteetin kanaviston mitoituspisteen saavuttamiseksi. Näistä puhallintyyteistä aksiaalipuhaltimet ovat kuitenkin paineistuksessa yleisempiä, koska aksiaalipuhaltimilla on suhteellisen tasainen puhallinkäyrä vaihtelevan virtauksen suhteen. Paineistuksessa eri tilanteissa ovia avataan ja suljetaan, jolloin aksiaalipuhaltimet pystyvät vastaamaan nopeammin ilmavirran muutoksiin ilman suuria painevaihteluita. [9, s.31.]

Aksiaalipuhaltimien asennusratkaisut ovat yleensä yksinkertaisempia toteuttaa ja ne vievät vähemmän tilaa.



Kuva 6. Akisaalipuhallin ja radiaalipuhallin [8].

Paineenalennuslaite

Paineistettava tila voidaan varustaa paineenalennuslaitteella, jolla tasataan paineistus-tilanteessa sulkeutuvien ovien aiheuttamaa hetkellistä korkeaa paineen nousua. Paineenalennuslaitteeseen säädetään erikseen avautumispaine, joten sitä ei tarvitse ohjata automaatiojärjestelmästä. Kuvan 5 paineenalennuslaite on omavoimainen, joten sen toiminta ei vaadi ulkopuolista ohjausta.

5 Paineistuksen toimintaperiaate

Paineistuksen käynnistyminen

Paineistus käynnistyy, kun taajuusmuuttaja saa automaattisen käynnistyskäskyn joko kiinteistövalvontajärjestelmästä esimerkiksi automaattisesti paloilmottimen toisen vaiheen hälytysviestistä tai käsiohjauksella savunpoiston ohjauskeskuksen ohjauskytkimellä. Ulkoseinässä oleva ilmanotto-laite, luukku tai moottoripelti, aukeaa ja paineistuspuhallin käynnistyy viiveen jälkeen. Sopiva viive voi olla esimerkiksi 30 sekuntia.

Paineistuksen käynnistyminen palotilanteessa sijoittuu ajallisesti kokonaispoistumisajassa havaitsemisvaiheeseen.

Tilanne alussa poistumistieoven ollessa kiinni

Taajuusmuuttaja ohjaa puhallinta paine-erotiedon perusteella siten, että haluttu paine-ero poistumistiellä saavutetaan poistumistien ovien ollessa kiinni. Kuvassa 7 tämä vaihe on esitetty x-akselilla t_0 .

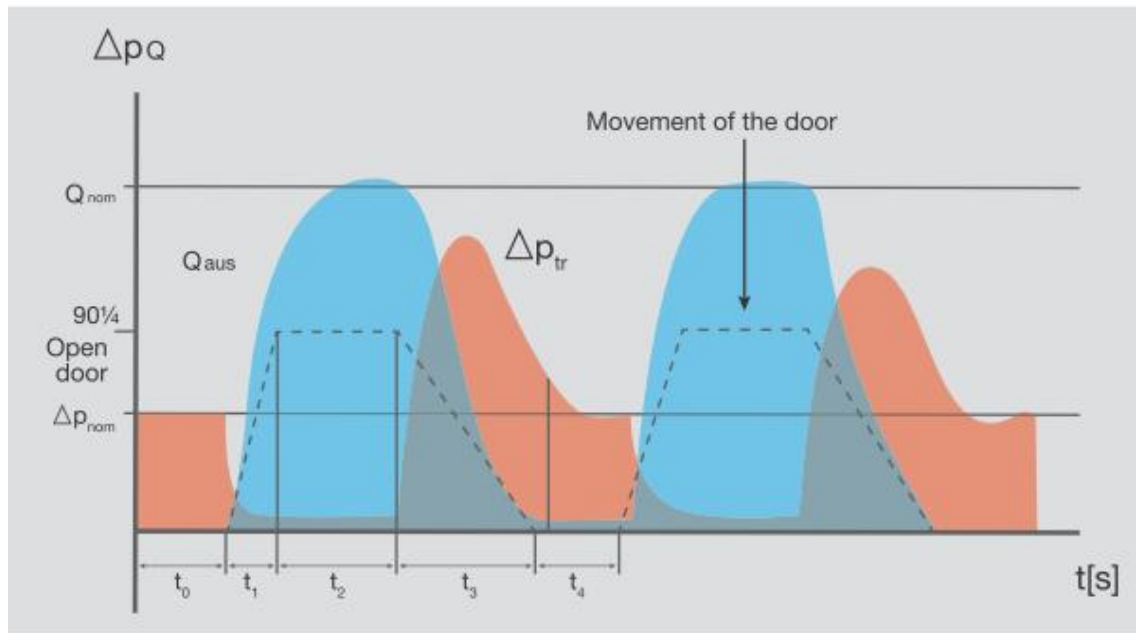
Aseteltu paine-ero, esimerkiksi +50 Pa, on paineistetun tilan ja vertailutilan välisen oven ylitse oleva paine-ero. Vertailupaineeksi valitaan joko viereisen vertailutilan paine tai ulkotila, mikäli ulkotila vastaa vertailutilan painetta.

Tilanne oven avautuessa

Kun paineistetulle poistumistielle johtava poistumistieovi avataan, karkaa aseteltu yli-paine välittömästi avoimen oven kautta ulos. Tässä vaiheessa taajuusmuuttaja pyrkii palauttamaan paine-eron takaisin asetteluarvoon lisäämällä puhaltimen kierroksia. Käytännössä puhallin käy maksimikierroksilla, koska niin kauan kuin ovi on auki, ei puhallin saavuta aseteltua +50 Pa:n paine-eroa avoimen oven ylitse. Sen sijaan standardin mukainen ilmavirtakriteeri avoimessa oviaukossa tulee toteutua. Kuvassa 7 tämä vaihe on esitetty x-akselilla $t_1 - t_2$.

Tilanne oven sulkeutuessa

Poistumistieoven ollessa auki paineistuspuhallin käy maksimikierroksilla. Kun poistumistieovi sulkeutuu, tila ylipaineistuu hetkessä. Paine nousee jyrkästi ylös ennen kuin puhaltimen paine-erosäätö alkaa palautumaan +50 Pa:n asetusarvoon. Kuvassa 7 tämä vaihe on esitetty x-akselilla $t_3 - t_4$.

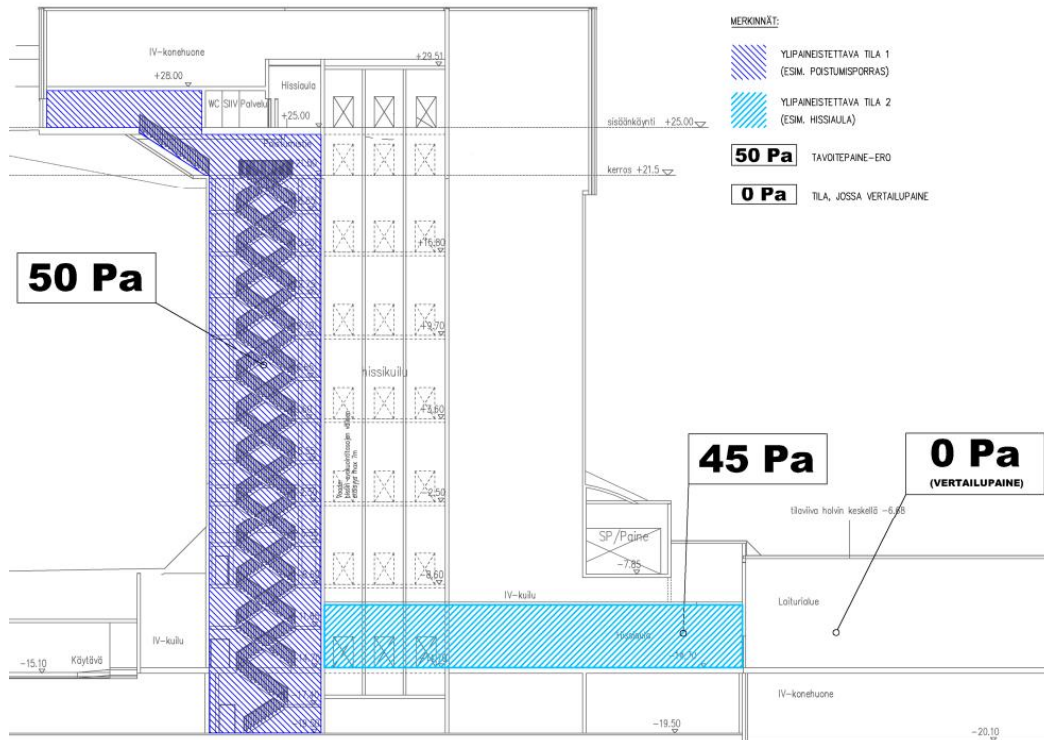


Kuva 7. Paine-eron ja puhaltimen ilmavirran reagointi oven avaamiseen ja sulkemiseen [13].

Peräkkäiset paineistuslohkot

Poistumisreitillä voidaan paineistaa vierekkäisiä poistumiseen tarkoitettavia tiloja. Näin voidaan tehdä esimerkiksi, kun poistumisreitti muodostuu pitkästä vaakakäytävästä ja pystysuuntaisesta porraskäytävästä. Tilojen erottaminen omiksi paineistuslohkoiksi parantaa pystysuuntaisen porraskäytävän turvallisuutta.

Poistumiseen tarkoitettavat tilat voidaan jakaa myös omiksi paineistuslohkoiksi, mikäli niiden toiminta poikkeaa toisistaan. Esimerkiksi kuvassa 8 hissiaula ja sen vierestä nouseva uloskäytäväporras voidaan jakaa omiksi paineistuslohkoiksi. Vertailutila kuvassa 8 on laiturialue.



Kuva 8. Peräkkäisissä osastoissa erilliset paineistukset

Peräkkäisissä paineistuslohkoissa standardin mukaiset paine-erot menevät kuvassa 8. siten, että ensimmäisessä paineistettavassa tilassa hissiaulan paine-ero on vertailutilaan verrattuna +45 Pa. Hissiaulan jälkeisen uloskäytäväportaan paine-ero vertailutilaan on +50 Pa. Hissiaulan ja uloskäytäväportaan välinen paine-ero on siis 5 Pa.

Molemmat paineistusalueet käynnistyvät samanaikaisesti paloilmottoimen viestistä. Kun poistumisreitillä paineistettujen lohkojen välillä olevan oven avaa, paineistusilman on tarkoitus virrata puhtaalta puolelta likaiseen päin eli palon suuntaan. Näin porraskuilu pysyy mahdollisimman puhtaan savusta.

Tällaisissa maanalaisissa aulatiloiissa on yleistä, että myös hissikuilut ovat ylipaineisia aulutilaan verrattuna.

6 Paineistuksen standardi

6.1 Paineistusluokat

Eurooppalainen standardi EN 12101-6:2005 ”Savuhallintajärjestelmät. Osa 6: Paineistus” on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Standardi ei sinällään ole velvoittava ennen kuin palotekninen suunnittelija määrittää, että kyseisen rakennuskohteen paineistusjärjestelmät toteutetaan EN 12101-6:n mukaisesti.

Standardissa EN 12101-6 paineistulaitteistot luokitellaan paineistusluokkiin A, B, C, D, E ja F niiden toimintaperiaatteiden mukaisesti. Kullakin paineistusluokalla on niiden käyttötarkoitukseen perustuvat mitoituskriteerit, joista on taulukossa 2 esimerkkejä. Paineistusluokan rakennuskohteeseen määrittää palotekninen suunnittelija yhdessä paloviranomaisen kanssa.

Taulukko 2. Paineistulaitteistojen toimintaperiaateluokitus [12, s.127].

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

Paineistusilmavirrat vaihtelevat eri paineistusluokissa riippuen vaadittavista mitoitusolosuhteista. Standardissa EN 12101-6 vaadittuja eri paineistusluokkien mitoituskriteereitä on esitetty liitteessä 1.

6.2 Paineistusluokan A vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan A vaatimuksia seuraavasti:

Suunnitteluolosuhteet perustuvat oletukseen, että rakennusta ei evakuoida, ellei palo uhkaa sitä välittömästi. Palo-osastointi on riittävän turvallinen. Ihmiset voivat

normaalisti jäädä huoneistoon. Siksi on todennäköistä, että vain yksi ovi käytävään on auki. [12, s.127].

Paineistusluokka A soveltuu enemmänkin kerrostaloihin kuin maanalaisiin kohteisiin. Maanalaisissa kohteissa on tyypillistä, että koko kohde evakuoidaan mahdollisimman nopeasti

6.3 Paineistusluokan B vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan B vaatimuksia seuraavasti:

Paineistusluokkaa B käytetään minimoimaan hissikuiluun tunkeutuvan savun haitallisia vaikutuksia poistumiseen ja palokunnan sammutus- ja pelastustehtäviin. Suunnitteluolosuhteet perustuvat oletukseen, että palokunta avaa huoneiston ja käytävän välisen oven sammuttaakseen huoneistossa täysin kehittyneen palon [12, s.128].

Paineistusluokkien B ja F ero on siinä, että luokassa B oletetaan, että hissikuilua ei ole paineistettu. Luokassa F oletuksena on, että hissikuilu on paineistettu.

Paineistusluokissa B ja F ilmavirtakriteeri on 2,0 m/s, kun muissa paineistusluokissa se on 0,75 m/s. Tulipalon syttyessä muissa kuin B- ja F-luokissa poistuminen tapahtuu palon ensihetkillä. Palokunnalta taas kestää pidempi aika saapua kohteeseen, jolloin tulipalo on kehittynyt pidemmälle ja savun muodostuminen on runsaampaa. Palokunnan operoidessa esimerkiksi paloletkulla saattaa syntyä tilanteita, joissa useampi sammutusreitit ovi on auki samanaikaisesti. Ilmavirta 2,0 m/s estää tehokkaammin savun leviämistä sammutusreitille.

6.4 Paineistusluokan C vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan C vaatimuksia seuraavasti:

Paineistusluokka C perustuu oletukseen, että kaikki rakennuksessa oleskelevat ihmiset poistuvat rakennuksesta palohälytyksen sattuessa. Poistuminen tapahtuu palon alkuvaiheessa, jolloin porraskäytävään tuleva savun määrä on siedettävä. Paineistuksella aikaansaatua ilmavirta porraskäytävään pitää poistumisreitit puhtaana savusta. Rakennuksessa olevat ihmiset lähtevät hälytyksen takia poistumaan. He tuntevat ympäristön hyvin, jolloin poistumisaika on lyhyt. [12, s.129].

Esimerkkikohteessa olevalla metroasemalla sovelletaan paineistusluokka C vaatimuksia, jonka mukaan toisen vaiheen palohälytyksestä koko asema evakuoidaan. Palohälytyksen jälkeen turvajärjestelmä opastaa ihmisiä poistumaan oikeaan suuntaan. Tällainen koko rakennuksen samanaikainen evakuointi soveltuu maanalaisiin kohteisiin.

6.5 Paineistusluokan D vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan D vaatimuksia seuraavasti:

Paineistusluokka D perustuu oletukseen, että kaikki rakennuksessa oleskelevat ihmiset voivat nukkua siellä. Näitä rakennuksia ovat esimerkiksi majoitusrakennukset ja hoituhuoneistoja sisältävät rakennukset. Ihmiset poistuvat rakennuksesta hitaasti. He tuntevat ympäristön huonosti ja tarvitsevat poistumiseen avustusta. [12, s.131].

Paineistusluokan D oletus hitaasta poistumisesta soveltuu heikosti maanalaisiin kohteisiin, kuten metroasemat ja paikoitusasemat.

6.6 Paineistusluokan E vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan E vaatimuksia seuraavasti:

Paineistusluokka E on käytössä rakennuksessa, jossa poistuminen voidaan vaiheistaa. Ihmiset voivat oleskella rakennuksessa huomattavan pitkän ajan tulipalon sattuessa. Tällöin palo aiheuttaa suuren paineen ja huomattavan määrän kuumia palokaasuja. Vaiheistetussa poistumistilanteessa suojattu porraskäytävä saadaan pysymään savuttomana niin, että ihmiset voivat poistua turvallisesti muista kuin palohuoneistosta myöhemmässäkin kehitysvaiheessa. [12, s.132].

Paineistusluokan E oletus vaiheittaisesta poistumisesta soveltuu heikosti maanalaisiin kohteisiin, joissa poistuminen tulee tapahtua mahdollisimman nopeasti.

6.7 Paineistusluokan F vaatimuksia

RIL 232-2012 ohjeistaa paineistusluokan F vaatimuksia seuraavasti:

Paineistusluokkaa F käytetään minimoimaan porraskäytävään tunkeutuvan savun vakavia haittavaikutuksia poistumisen ja palokunnan sammutus- ja pelastustehtävien aikana. Sammutustehtävän aikana on välttämätöntä avata ovet sammutushyökkäyskäytävän ja oleskelutilojen välillä täysin kehittyneen palon sammuttamiseksi. Suunnitteluolosuhteet perustuvat oletukseen, että palokunta avaa

huoneiston ja käytävän välisen oven sammuttaakseen huoneistossa täysin kehittyneen palon. [12, s.133].

Paineistusluokassa F on oletuksena, että hissikuilu on ylipaineistettu kerronaulaan nähden. Tämä soveltuu hyvin maanalaisiin julkisiin tiloihin, joissa liikkuu paljon ihmisiä.

6.8 Paineistusluokan C mitoituskriteerit

Edellä olleista paineistusluokista paineistusluokka C soveltuu osuvimmin tässä opinäytetyössä käsiteltäviin maanalaisten tilojen poistumiskäytäviin. Sen vuoksi tässä kohdassa keskitytään ainoastaan paineistusluokan C vaatimusten mukaisiin mitoituskriteereihin.

Standardissa EN 12101-6 paineistusluokassa C ilmavirtakriteeri on määritelty siten, että paineistetun ja palotilan välisessä oviaukossa ilmavirran nopeus on oltava vähintään 0,75 m/s, kun

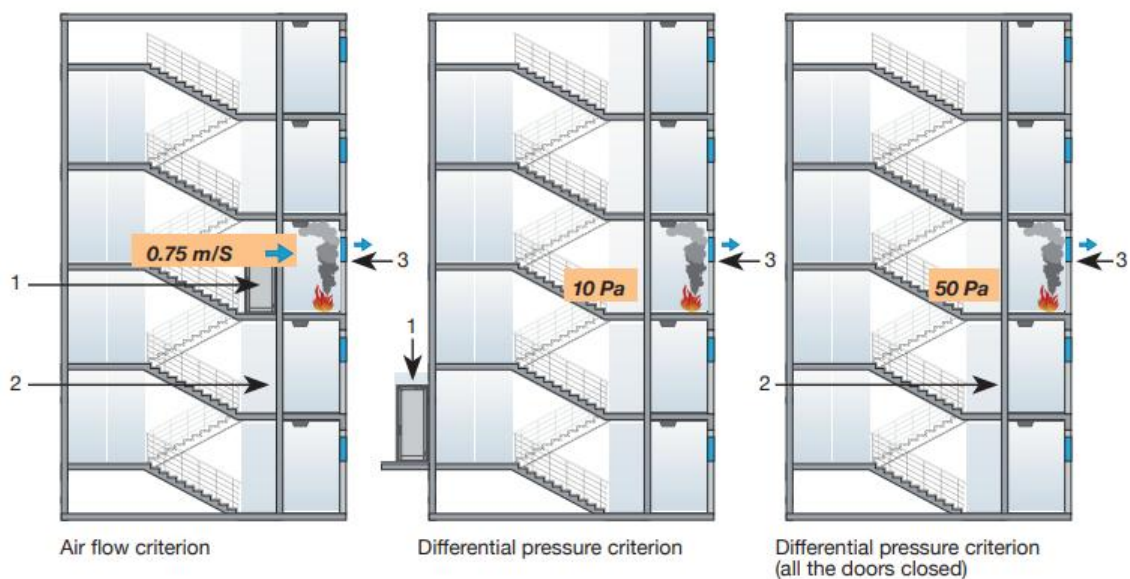
- palavan tilan ja paineistetun tilan välinen ovi on auki
- ilmanpurkausreitti palotilasta on auki
- muut ovet ovat suljettuja.

Taulukossa 3 on standardin EN 12101-6 mukaiset paine-erokriteerit paineistusluokassa C. Sallittu toleranssi mittauksissa on 50 Pa \pm 10 %.

Taulukko 3. Minimipaine-ero palohuoneiston ja porraskäytävän välillä paineistusluokassa C [12].

	Käyttöesimerkki	Paine-ero
1	Ovet paineistetun porraskäytävän ja huoneiston välillä suljettuina	50 Pa
2	Ovet paineistetun porraskäytävän ja ulko-oven välillä suljettuina	
3	Ilman purkausaukko palohuoneistosta auki	
4	Ulko-ovi suljettu	
5	Ulko-ovi auki, muuten kohtien 1-3 asennot	10 Pa

Kuvassa 9. on esitetty paineistusluokan C ilmavirtakriteeri sekä paine-erokriteerit eri tilanteessa; 1 tarkoittaa ovi auki, 2 tarkoittaa ovi kiinni ja 3 on ilmanpurkausaukko.

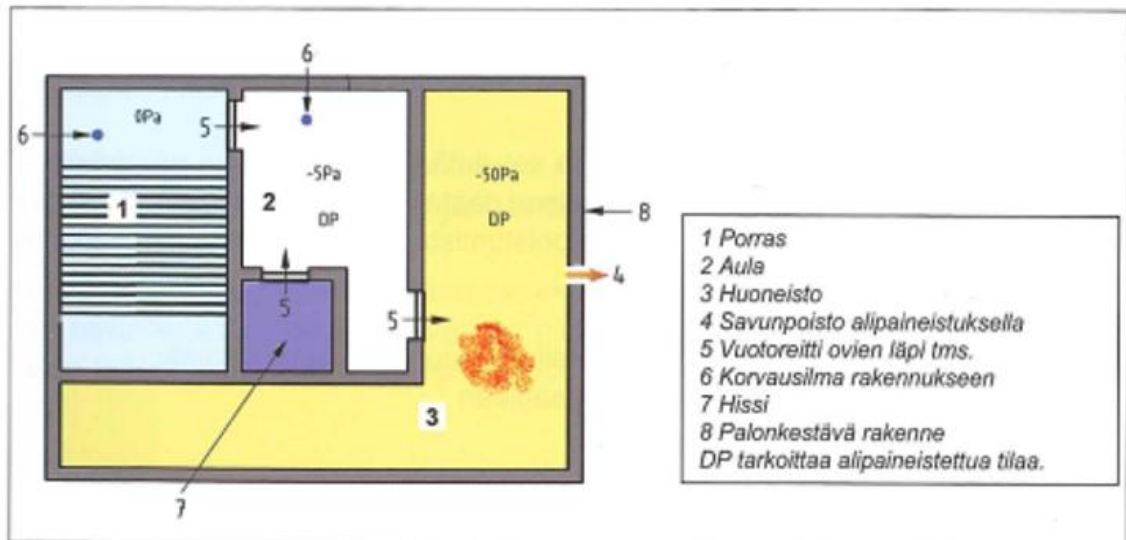


Kuva 9. Paineistusluokan C mitoituskriteeri [13].

Maanisissa kohteissa pystytään harvoin järjestämään standardin mukaista ja kuvassa 9 olevaa ilmanpurkausaukkoa ulkoseinässä. Se edellyttäisi useita painovoimaisia savunpoistokanavia, jotka kanavoitaisiin maanpinnalle asti. Maanalaisissa kohteissa standardin mukainen ilmanpurkausaukko korvaantuu koneellisella savunpoistolla ja savunpoiston korvausilmalla.

6.9 Maanalaisten tilojen alipaineistus

Paineistusstandardin EN 12101-6 luvussa 9 käsitellään maanalaisten tilojen alipaineistamista. Periaate menee siten, että palavassa tilassa on pelkkä savunpoisto, joka alipaineistaa palavan tilan, kun savunpoistoa vastaavaa korvausilmamäärää ei ole saatavilla. Korvausilma tulee tässä järjestelmässä porraskäytävästä ovirakojen läpi palavaan tilaan.



Kuva 10. Maanalaisten tilojen alipaineistus [12].

Alipaineistamiseen liittyy kuitenkin muutamia ongelmia, mikä kyseenalaistaa koko toimintaperiaatteen.

Toimiakseen oikein savunpoisto tarvitsee korvausilmaa saman määrän, mikä on savunpoiston mitoitusilmavirta. Muussa tapauksessa savu alkaa ainoastaan kiertämään tilassa ja pahimmillaan tunkeutuu käytävän puolelle. Oviraot eivät ole riittäviä korvausilma-aukkoja savunpoistossa.

Kun ovet aukeavat poistumissuuntaan niin hallitsematon alipaine estää ovien aukeamisen esimerkiksi kuvan 10 mukaisessa tilanteessa. Tämä on ongelma etenkin, kun savunpoisto käynnistyy automaattisesti, jolloin palavassa osastossa saattaa olla vielä ihmisiä. Manuaalisen savunpoiston käynnistymisen suorittaa palokunta.

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa E1:n kohdasta 11.4.3 löytyy [3, s.35.] seuraava määräys:

Kellarikerroksen tiloista tulee olla savunpoistomahdollisuus niin, ettei osastoituja uloskäytäviä eikä osastoituja sammutusreittejä tarvitse käyttää savunpoistoon.

Sama asia löytyy myös nykyisestä Ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten paloturvallisuus kohdasta 42§ Savunpoisto. [5, s.23.]

Velvoite on hiukan epäselvä. Tapauskohtaisesti sitä voi tulkita, että maanalaisia osastoituja uloskäytäviä ja sammutusreittejä ei tulisi käyttää edes savunpoiston korvausil-

mareittinä. Yleensä maanalaisissa kohteissa porraskäytävät ovat juuri uloskäytäviä tai sammutusreittejä.

7 Savunhallintajärjestelmä

7.1 Savunhallintajärjestelmän osat

Paineistusjärjestelmä on osa savunhallintajärjestelmää. Savunhallintajärjestelmän osat ovat:

- savunpoistopuhaltimet
- paineistuspuhaltimet
- korvausilmapuhaltimet
- suuntapaine puhaltimet
- savunpoistokanavat
- savunpoisto- ja korvausilmaikkunat
- savunpoisto- ja korvausilmaluukut
- savunhallintapellit
- palopellit
- palo-ovet
- savuverhot
- laukaisulaitteet
- ohjauskeskukset
- tehonlähteet.

Savunhallintajärjestelmä käsittää laajan laitekokonaisuuden, mihin liittyy yhteisiä toimintavarmuuteen liittyviä vaatimuksia. Esimerkiksi paineistusjärjestelmän ohjaukselle ja sähkönsyötölle on samoja vaatimuksia kuin savunpoistopuhaltimilla.

7.2 Savunpoistotasot

Eri rakennusten tilat jaetaan niiden käyttötarkoituksen perusteella kolmeen savunpoistotasoon, joilla voidaan luokitella savunhallintajärjestelmien vaatimustaso. Savunpoistotasolla kuvataan savunpoistolaitteiston käyttötapaa ja automaattisuutta:

- Savunpoistotason I laitteet avataan laitekohtaisesti palokunnan toimesta.
- Savunpoistotason II laitteet palokunta avaa helposti saavutettavasta paikasta, esim. ohjauskeskuksessa olevasta painonapista
- Savunpoistotason III laitteisto avautuu savulohkoittain automaattisesti esimerkiksi paloilmioittimen antaman hälytyksen perusteella. [4, s.4.]

Savunpoistotason III laitteisto käynnistyy automaattisesti esimerkiksi paloilmioittimen antaman hälytysviestin perusteella. Savunpoistotasossa III käytetään automaattista savunpoistolaitteistoa. Tason III laitteita käytetään, kun on tarkoitus varmistaa ihmisten poistuminen kiinteistöstä jo ennen palokunnan saapumista. [4, s.4.]

Paineistusjärjestelmien automaattinen käynnistyminen paloilmioittimen viestistä edellyttää, että savunhallintajärjestelmä toteutetaan savunpoistotasoon III.

7.3 Paloilmioitinjärjestelmä

Savunpoistotasossa III savunhallintajärjestelmän automaattinen käynnistys tehdään pääasiassa paloilmioittimen kautta. Savunhallintajärjestelmien käynnistymisen aiheuttava paloilmioittimen viesti tulee perustua varmistettuun tietoon. Sen takia paloilmioittimen lähettämä käynnistysviesti kannattaa tehdä kaksivaiheiseksi virheellisen tiedon välttämiseksi.

Ensimmäisen paloilmioittimen hälytysviestistä tapahtuvat esimerkiksi paloilmioitus hätäkeskukseen ja paikalliseen turvalavomoon, sekä äänikuulutukset.

Toisesta paloilmioittimen hälytysviestistä, mikä voi olla esimerkiksi pisteilmioittimen hälytys tai sprinklerin laukeaminen, tapahtuu seuraavat ohjaukset:

- Savunpoisto käynnistyy siinä savulohkossa, josta on tullut kaksi paloilmioitusta.
- Palo-ovet sulkeutuvat.
- Savusulut laskeutuvat.
- Ilmanvaihto pysäytetään paloalueella.
- Moottoritoimiset palopellit sulkeutuvat.
- Paineistettavat alueet käynnistyvät
- Hissit ajetaan pakko-ohjuksella turvalliselle tasanteelle [4, s.10.]

Mikäli paloilmoitinviesti tulee paineistettavasta tilasta, kyseisen tilan paineistus ei saa käynnistyä automaattisesti.

7.4 Sähköinen turvajärjestelmä

Sähköisen turvajärjestelmän tarkoitus on ylläpitää paloilmoitin- ja savunhallintajärjestelmien sähkösyöttöjä ja ohjauksia tulipalon aikana. Turvajärjestelmältä edellytetään kohteessa vähintään samaa toiminta-aikaa kuin savunhallintajärjestelmältä.

Henkilöturvallisuuden vuoksi tehty savunhallintalaitteisto edellyttää aina turvajärjestelmää. Tähän perustuen myös paineistuslaitteiston sähköinen järjestelmä tulee suunnitella turvajärjestelmänä. [4, s.8.]

Vaatimukset sähköisestä turvajärjestelmästä perustuu Ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta:

Asennusten, joiden edellytetään toimivan palon aikana, tulee olla tehty siten, että niiden toimintakyky säilyy tarvittavan ajan [10, s.40].

Standardissa SFS 6000-5-56, joka käsittelee turvajärjestelmiä, on annettu esimerkkejä erilaisista turvajärjestelmistä:

- turvavalaistus (poistumisvalaistus)
- palopumput
- pelastuskäyttöön tarkoitetut hissit
- palo- ja savuhälytysjärjestelmät
- evakuointijärjestelmät, kuten äänievakuointijärjestelmät
- savunhallintajärjestelmät, myös paineistus [14, s.6].

Standardin SFS 6000-5-56 kohta 560.5.2 edellyttää sähkön teholähdettä, joka pystyy ylläpitämään sähkönsyöttöä palotilanteessa. Laitteistolta ja asennuksilta edellytetään riittävää palonkestävyyttä koko sähkönsyöttömatkalta, joten esimerkiksi kaapelit tulee olla palonkestäviä.

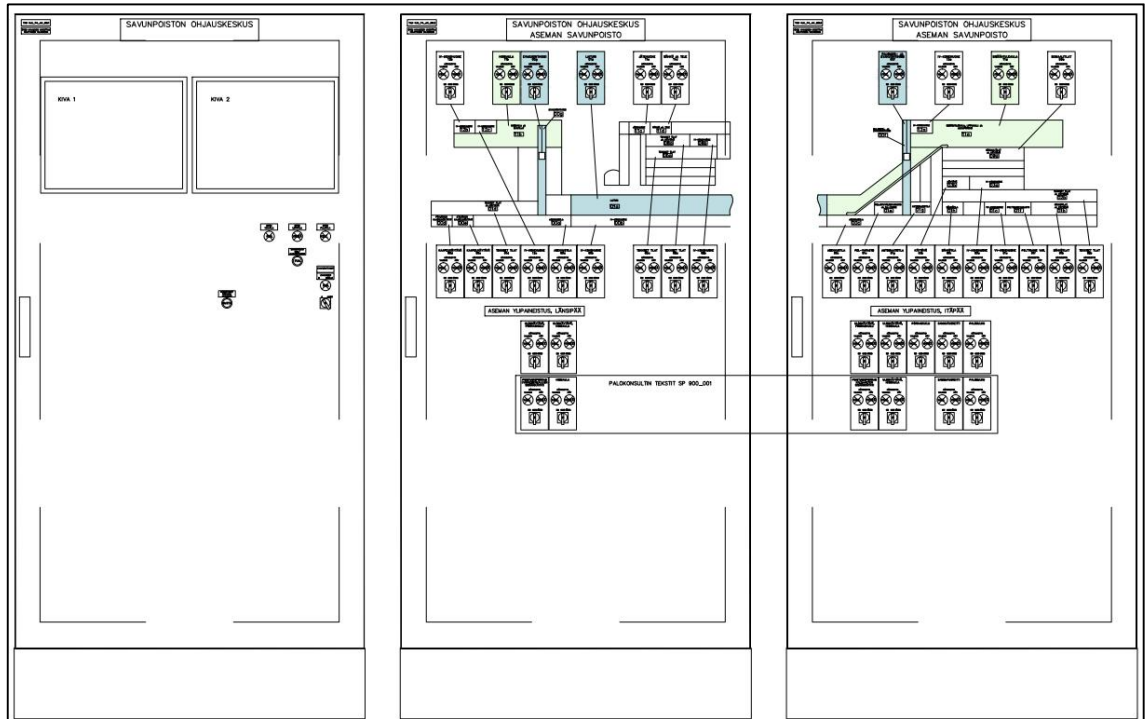
Turvajärjestelmien teholähteinä voidaan käyttää akkuja, paristoja, normaalista syötöstä riippumattomia generaattoreita, erillistä syöttöä jakeluverkosta, joka on tehokkaasti riippumaton normaalista syötöstä. [14, s.8-9.]

Turvajärjestelmä alkaa suoraan rakennukseen tulevasta sähkösyötöstä ja ulottuu savunhallinnan toimilaitteiden liittimille saakka. Turvajärjestelmävaatimukset eivät koske johtojärjestelmään liitettävää savunhallintalaitetta, vaan turvajärjestelmä päättyy savunhallintalaitteen liittimiin. [4, s.15.]

7.5 Ohjauskeskus

Savunpoiston ohjauskeskus sijaitsee yleensä palokunnan sammutusreitillä varrella helposti saavutettavalla paikalla. Ohjauskeskuksesta voi operoida kaikkia savunpoisto- ja paineistuslohkoja. Yleensä osa savunpoistolohkoista on manuaalisesti käynnistettäviä savulohkoja, joiden käynnistyskytkimet löytyvät ohjauskeskuksesta. Myös kaikissa automaattisesti käynnistyvissä savunpoisto- ja paineistuslohkoissa tulee olla käsinohjauksen mahdollisuus.

Kuvassa 11 on esitetty eräs savunpoiston ohjauskeskus. Ohjauskeskuksen kolmeen oveen on integroitu erilaisia toimintoja. Ensimmäisessä ovesa on kaksi kosketusnäyttöpaneelia ja niiden alapuolella muita kytkimiä ja valoja. Paneelien kautta pääsee valvomaan ip-osoitteellisia savunhallintalaitteistojen toimintoja ja tilatietoja. Kahdessa seuraavassa ovesa on kaikkien savunpoisto- ja paineistuslohkojen käynnistyskytkimet ja muita merkkivaloja. Kytkinten vieressä on kaaviokuva, joka näyttää jokaisen kytkimen palvelualueen. Eri merkkivalot osoittavat palotilan, lepotilan, vikatilaa ja käyntitilan.



Kuva 11. Malli savunpoiston ohjauskeskuksesta

Kaikki lohkot voidaan käynnistää savunpoistokeskuksesta ilman, että savunhallintajärjestelmä on saanut paloilmottimen viestiä palohälytyksestä. Esimerkiksi savunpoiston ja paineistuksen testaaminen lohko kohtaisesti onnistuu kontrolloidusti tällä tavalla.

8 Paineistusjärjestelmän suunnittelu

8.1 Ilmanottoaukko

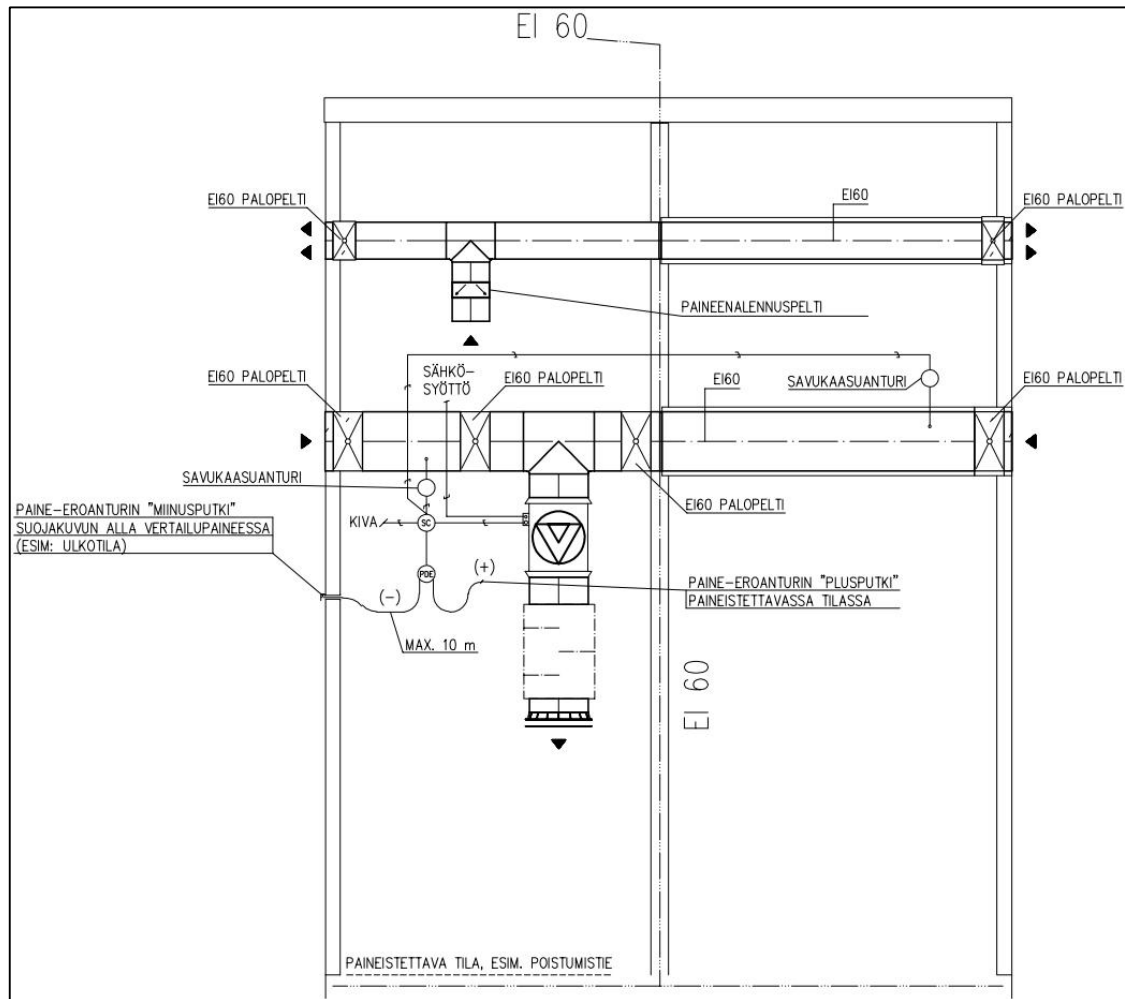
Ilmanottoaukon suunnittelussa on tärkeä huomioida, että sen sijainti rakennuksen ulkoseinässä tai katolla on oltava mahdollisimman etäällä savunpoiston ulospuhalluspisteestä, jotta paineistusjärjestelmä ei täydy suojattavaa tilaa savulla.

Paineistusjärjestelmien ilmanottoaukkojen on avauduttava ennen puhaltimien käynnistymistä, jotta puhaltimen aiheuttama alipaine ei vahingoita puhallinta tai kanavistoa. Automaattisen, paloilmottinjärjestelmästä ohjatun, käynnistyksen yhteydessä on käytettävä noin 15 sekunnin viivettä ilmanottoaukkojen avautumisen ja paineistuspuhaltimien käynnistymisen välillä.

Ilmanottoaukon yhteydessä tulee olla savukaasuanturi. Mikäli savukaasuanturi tunnistaa savua, järjestelmä pysäyttää puhaltimen välittömästi ja sulkee ilmanottoaukon.

Sopivien Ilmanottokohtien löytyminen on välillä hankalaa maanalaisissa kohteissa, kun maanpinnalle ulottuva rakennuksen osa on verrattain pieni maanalaiseen osaan verrattuna. Maanpäälliseen osaan tulee sijoitettavaksi myös savunsavunpoiston ulospuhallukset, jolloin riittäviä etäisyyksiä savunpoiston ja ilmanotto pisteiden välille ei ole aina helppo järjestää.

Mikäli suunnitteluvaiheen riskitarkastelussa todetaan, että paineistusjärjestelmälle ei löydy yhtä sellaista ilmanottoaikkaa, joka ei olisi altis savulle jossain paloskenaariossa, tulee paineistusjärjestelmälle suunnitella kaksi erillistä ilmanottoaikkaa. Ilmanottoaukot tulee suunnitella mahdollisimman etäälle toisistaan ja mielellään eri ilmansuuntiin. Kaksi erillistä ilmanottoa voidaan kanavalla yhdistää yhden puhaltimen taakse tai vaihtoehtoisesti molempia ilmanottoja palvelee omat puhaltimet. Molemmat ilmanotot varustetaan savukaasuanturilla. Savukaasuanturit tulee sijoittaa siten, että ilmanotto ei altista toisen puolen savukaasuanturia. Kuvassa 12 on esitetty periaate, jossa ilmanotto voidaan ottaa kahdesta eri suunnasta. Savuanturit on kuvassa suojattu ylimääräisillä sulkupelleillä.



Kuva 12. Periaate kun paineistuksessa on kaksi ilmanotto-suuntaa.

Paineistusjärjestelmän käynnistyessä toinen ilmanotto-suunta on aina oletettu avautumissuunta, mikä pyrkii avautumaan ensimmäisenä. Kun oletetun suunnan savukaasuanturi tunnistaa savua, järjestelmä sulkee sen ja avaa vaihtoehdoisen ilmanotto-reitin. Jos vaihtoehtoreittikin tunnistaa savua, järjestelmä sulkee kyseisen lohkon paineistuksen.

8.2 Puhaltimen suunnittelu

Maanalaisen paineistettavan tilan puhallin mitoitetaan käytännössä sellaisen ilmamäärän mukaan, että poistumistasolla olevassa yhdessä tai useammassa avoimessa ovi-avauksessa toteutuu vähimmäisilmanopeus 0,75 m/s.

Standardin EN 12101-6 mukaan paineistusilmavirta voidaan mitoittaa joko paineistusluokkien mukaisten avoimien oviaukkojen perusteella tai rakenteiden vuotoilmamäärien mukaan. Näistä paineistusilmavirraksi valitaan mitoituslaskujen perusteella isompi ilmavirta. Maanalaisissa tiloissa ei yleensä ole merkittäviä rakenteiden vuotokohtia, joten mitoitus perustuu yleensä avoimien oviaukkojen mitoitustapaan.

Rakenteellisilla vuotokohdilla tarkoitetaan ikkunoita, ulko-ovia, avoimia sisäovia ja väljiä ulkoseinärakenteita. Myös hissikuilujen ovet tulee huomioida, mikäli hissejä ei paineisteta. Standardissa EN 12101-6 on määritetty kaavat, joilla vuotoilmavirtoja lasketaan.

Etenkin julkisilla liikenneasemilla paineistetuille alueille saattaa johtaa samasta tilasta useampi kuin yksi poistumistieovi. Näiden oviaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala pitää huomioida puhaltimen mitoituksessa.

Paineistuspuhaltimella ei ole lämpötilankestovaatimuksia, koska ne toimivat normaaleissa lämpötiloissa.

Puhaltimen mitoituksessa pitää huomioida

- imuaukon painehäviö
- paineaukon painehäviö
- kanaviston kitkapainehäviö
- kanaviston mutkien, muunnoksien, haarojen yms. kertapainehäviöt
- kanavistoon asennettavien laitteiden (äänenvaimentimet, pellit yms.) kertapainehäviöt.

Paineistetulla alueella ylläpidettävää paine-eroa, esim. 50 Pa, ei tarvitse huomioida puhaltimen mitoituksessa, koska mitoitus perustuu tilanteeseen, jossa poistumistieovet ovat auki.

Puhaltimen kokonaispaineenkorotus sisältää dynaamisen paineen ja staattisen paineen. Dynaaminen paine tarkoittaa käytännössä ulospurkauspainehäviötä. Jos LVI-suunnitelma-asiakirjoissa vaaditaan puhaltimelta kokonaispaineenkorotusta, puhaltimen halkaisija tulee olla silloin määritelty. Jos vaaditaan puhaltimelta staattista paineenkorotusta, se on riippumaton puhaltimen halkaisijasta.

Puhaltimen kokonaispaine, P_{tF} on puhaltimen paine- ja imuaukolla vallitsevien kokonaispaineitten erotus:

$$p_{tF} = p_{t2} - p_{t1} . \quad (2)$$

Puhaltimen dynaaminen paine, p_{df} on puhaltimen paineaukossa virtaavan kaasun keskimääräisen nopeuden ja tiheyden mukaan laskettu dynaaminen paine:

$$p_{df} = \frac{\rho^2}{2} x V_{m2}^2 \quad (3)$$

Puhaltimen staattinen paine, p_{sF} on puhaltimen kokonaispaineen ja dynaamisen paineen erotus:

$$p_{sF} = p_{tF} - p_{df} \quad (4)$$

Paineistuksen puhallintyyppiä soveltuu yleensä paremmin Aksiaalipuhallin. Aksiaalipuhaltimien moottoreissa on yliämpösuoja, jonka käyttö on suositeltavaa etenkin taajuusmuuttajakäytössä. Taajuusmuuttajakäytössä minimipyörimisnopeus on 20 % maksimista (10–50 Hz). Jos halutaan käyttää yli 50 Hz taajuuksia, tulee varmistua puhaltimen rakenteellisesta kestävydestä halutulle pyörimisnopeudelle. [8, s.7.]

Puhaltimen tulee täyttää standardin ISO 5801 vaatimukset [12, s.200].

Jos aksiaalipuhallin sijoitetaan suoraan julkisivuseinään, sijaintia suunniteltaessa kannattaa huomioida, onko se kohtisuorassa todennäköiseen tuulensuuntaan päin. Tuulenpaineen huippu aiheuttaa paineistusjärjestelmään helposti häiriöitä. [9, s.31.]

Puhaltimen ohjaus tulee suunnitella siten, että puhallinta ei pysty yksittäin käynnistämään ilman, että muut kyseisen verkosto-osajärjestelmään kuuluvat ilmanottolaitteet avautuvat. Myös mahdollisen ylipaineen purkuun liittyvä laite tulee avautua ennen puhaltimen käynnistymistä. Paineistusjärjestelmää ohjaavassa ohjauskeskuksessa ei näin ollen saa olla sellaista manuaalista kytkintä, joka käynnistää pelkästään puhaltimen esimerkiksi huoltokäyttöä varten.

8.3 Poistumistieovet

8.3.1 Poistumistieovien leveys

Poistumistieovien oikea valinta on onnistuneen paineistusjärjestelmän yksi tärkeimmistä asioista. Liian suuret ovet vaikeuttavat ovien avaamista paineistetulle poistumistielle. Pahimmillaan ovia ei saa auki ja koko poistuminen vaarantuu.

Poistumistieovien yhteenlaskettu vähimmäisleveys määräytyy uloskäytävän vähimmäisleveyden mukaan. Uloskäytävän vähimmäisleveys lasketaan uloskäytävän kautta poistuvien henkilöiden lukumäärän perusteella. Poistumisalueen henkilömäärä voidaan jakaa eri uloskäytävien osalle ja uloskäytävien leveydet lasketaan yhteen. Ovien kohdalla tätä sovelletaan siten, että kahden poistumistieosaston välillä laskettu uloskäytäväleveys jaetaan useammalle poistumistieovella. Yhden oven leveys on oltava kuitenkin vähintään 1,2 metriä ja 2,1 metriä korkea, joka vastaa yleisesti uloskäytävän vähimmäismittoja.

Uloskäytävän mitoituksessa käytetään suurinta poistumisalueelle suunniteltua henkilömäärää. Jos samaan uloskäytävään liittyy eri suunnista useampia poistumisreittejä, uloskäytävän leveys on mitoittava henkilömäärältään suurimman poistumisreitien mukaan.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuus kohdasta 34§ on edellä mainitusta poiketen lueteltu kuitenkin:

- Poistumisalueella, jonka henkilömäärä on enintään 60, voi toinen uloskäytävä olla vähintään 900 millimetrin levyinen.
- Enintään kaksikerroksisessa asuinrakennuksessa voi olla yksi vähintään 900 millimetrin levyinen uloskäytävä.
- Jos olemassa olevan rakennuksen uloskäytävään asennetaan hissi tai muu tasonvaihtolaite, voi asunnon uloskäytävä olla vähintään 850 millimetrin levyinen.
- Henkilömäärän ylittäessä 120 uloskäytävien yhteenlaskettu vähimmäisleveys lasketaan lisäämällä 1 200 millimetriin 400 millimetriä kutakin seuraavaa 60 henkilöä kohden. Uloskäytävään johtavan sisäisen käytävän leveys määrätään kuten uloskäytävän leveys käytävää kulkevan henkilömäärän mukaan. [5, s.20].

Tällaisissa uloskäytävissä ja uloskäytäviin johtavilla kulkureiteillä ei voi käyttää ovia, jotka eivät aukea poistumissuuntaan. [1, s.38.]

8.3.2 Poistumistieoven aukaisu paineistettuun tilaan

Maan alla olevissa julkisissa tiloissa, kuten liikenneasemilla, joissa kulkee paljon ihmisiä, poistumisteiden vähimmäisleveydet ovat verrattain suuria, koska uloskäytäviä ei voi helposti jakaa useampaan erilliseen osaan.

Kun poistumistieovien aukeamissuunta on poistumissuuntaan päin, kasvattaa se paineistettuun tilaan mentäessä oven avaamiseen tarvittavaa voimaa. Oven avaamista vaikeuttaa 50 Pa:n vastapaine paineistetussa tilassa.

Paineistusstandardin mukaan oven avaamiseen tarvittava voima ei saa ylittää 100 N:a. [2, s.22.]

Paineistuksen ollessa käynnissä oven avaamiseen tarvittava voima voidaan laskea yhtälöllä 5.

$$F = F_{dc} + \frac{D_A \times W_d \times \Delta P}{2 \times (W_d - d)} \quad (5)$$

F_{dc} on oven avaamiseen tarvittava voima normaalitilanteessa kun paineistus ei ole käynnissä (N)

D_A on oven pinta-ala (m²)

W_d on oven leveys (m)

ΔP on paine-ero oven ylitse, kun paineistus on käynnissä

d on oven kahvan etäisyys lähimpään oven pystyreunaan (m).

Paine-eron aiheuttama voima oven neliöön on 50 Pa = 50 N/m² = 5,0985 kg/m².

Paineistettuun poistumisalueeseen, esimerkiksi poistumistieaulaan, voi johtaa samalta paloalueelta useampi poistumistieovi siten, että vaaditut poistumistieleveydet täyttyvät. Näiden ovien mitat tulee valita huolella siten, että 1. oven avaamiseen tarvittava voima 100 N ei ylity.

Suunnittelun alkuvaiheessa tulee olla tarkkana, että yksittäisten ovien ovimitoista ei muodostu liian suuria. Etenkin poistumistieauloissa ovien korkeudet suunnitellaan mie-

lellään arkkitehtuurisista syistä korkeammaksi, mitä uloskäytävän vähimmäiskorkeus on. Mikäli pinta-alat alkavat muodostumaan liian suureksi paineistuksen kannalta, on mielestäni ilmanvaihtosuunnittelijan velvollisuus huomauttaa pääsuunnittelijaa liian suurista ovista.

Tilanteessa, jossa paineistettuun tilaan tulee pinta-alaltaan isoja oviaukkoja ja oven avaamiseen tarvittava voima 100 N on vaarassa ylittyä, kannattaa oviaukko määrittää kaksilehtisillä ovilla. Esimerkiksi kaksilehtisen 1,6 metriä leveän oviaukon 0,8 metrin ovilehti on helpompi avata kuin yksi 1,2 metriä leveä ovilehti.

Ovea avatessa paine-eron aiheuttama vastus pienenee, kun ovilehteä saa raotettua sen verran, että paineistetun tilan puolelta ylipaine purkaantuu avatun oven suuntaan.

Ensimmäinen paineistetulle alueelle johtava ovi on aina vaikein avata, koska vertailutilan ja paineistetun tilan välinen paine-ero on 50 Pa. Ovi, joka on kahden peräkkäisen paineistetun alueen välissä, on helpompi avata, koska paine-ero oven yli ei tarvitse olla 50 Pa. Kuvan 8 esimerkissä kahden paineistetun tilan välinen paine ero on 5 Pa. Paineistetun uloskäytävän ulko-ovi on helppo avata, koska ovi aukeaa aina ulospäin poistumissuuntaan.

8.3.3 Ovisulkimien vaikutus paineistukseen

Vaikka poistumistieovet varustetaan ovisulkimilla, eivät ne silti kokonaan ratkaise oven avaamiseen liittyvää ongelmaa. Jossain tapauksissa paloturvallisuuden takia oveen joudutaan laittamaan isompi ovisuljin kuin mitä oven leveys ja paino vaatii. Oven osatointivaatimuksen takia on tärkeää, että ovi sulkeutuu kunnolla, eikä jää raolleen. Liian pieni ovisuljin ei pysty sulkemaan ovea.

Esimerkiksi aulatiloissa on mahdollista lukita ovet sulkimilla auki asentoon, mikäli ovien läpi kuljetaan paljon. Paineistustilanteessa paloilmoittimen 2. vaiheen viestistä ovet voidaan ohjata sulkeutumaan automaattisesti, jolloin ovet eivät estä aulan paineistamista.

8.4 Paineenalennuslaitteen suunnittelu

Paineenalennuslaitteella voidaan tasata paine-eroa, ettei suojatussa tilassa paine nouse haitallisen korkealle. Etenkin maanalaisissa tiloissa, rakenteellisia vuotokohtia, joista ilmavirta pääsee ulos, on vähemmän.

Tilanteessa, joissa ovet paineistetulle alueelle suljetaan, alkaa paine nousemaan jyrkästi ylös. Tämä tilanne on esitetty kuvan 7 kohdassa t_3 . Paineenalennuslaitteella voidaan leikata nouseva painepiikki säätämällä paineenalennuspellin avautumispainetta.

Paineenalennuslaitetta ei kannata sijoittaa liian lähelle puhallinta, jotta se ei aukea puhaltimen ulospuhallusvoimasta liian aikaisin ennen aseteltua paine-erotavoitetta.

Kuvassa 13 on eräs mekaanisesti toimiva paineenalennuspelti. Kyseistä peltiä voi säätää pellin sivussa olevilla painolevyillä. Kuvassa olevassa tuotteessa on painolevyjä kolmessa pakassa ja levyt ovat muttereilla kiinni. Säätö voidaan tehdä valmiiksi tehtaalla, kun ajoissa ilmoitetaan avautumispaine. Mutterikiinnityksen johdosta säätö on helppo tehdä myös työmaalla laitetestausten aikana.



Kuva 13. Paineenalennuspelti [16].

Suunnittelussa tulee huomioida, että painolevyt pääsevät liikkumaan vapaasti pellin sivulla. Painojen liikkumista saattaa estää esimerkiksi paloeristys, mikäli paineenalennuskanava joudutaan kanavoimaan viereisen osaston läpi. Myös pellin asento vaikuttaa painojen liikkumiseen.

Testausvaiheessa painoja voi joutua säätämään useampaan kertaan, ennen kuin paineistuksen optimisäätö löytyy. Sen takia paineenalennuslaite tulisi suunnitella sellaiseen paikkaan, että siihen pääsee helposti käsiksi.

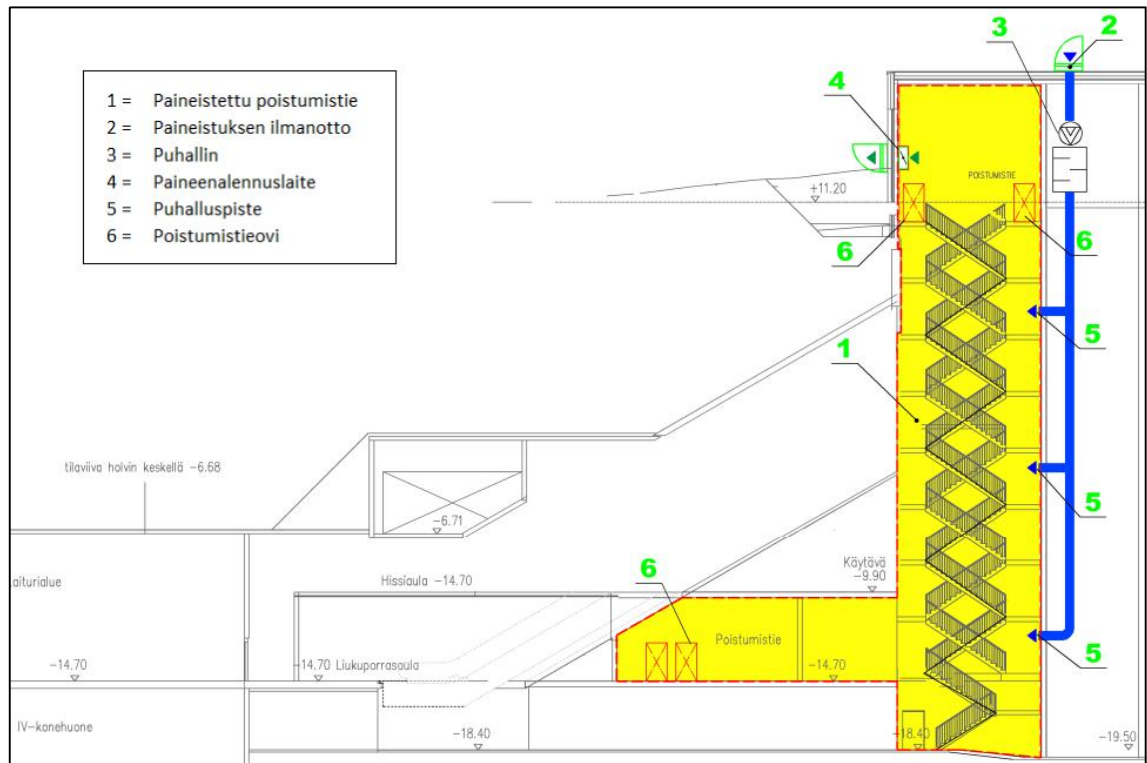
Jos ympäröivässä tilassa ilma on pölyistä tai se sisältää paljon kosteutta, kannattaa paineenalennuspellille tyypittää suunnitelmiin vedenkestävät laakerit. Muuten pellin laakerit voivat jumittua muutamassa vuodessa.

Paineenalennuspelti tulee mitoittaa laitevalmistajan ohjeiden mukaan siten, että ilmoitettu maksimi-ilmanopeus pellin läpi ei ylity.

8.5 Puhalluspisteen ja purkuaukon sijoittelu

Maanalaisissa kohteissa paineistetut uloskäytävät ovat tyypillisesti korkeita porraskäytäviä, joista poistumissuunta on alhaalta ylös. Potentiaalinen palava alue, josta poistutaan, sijaitsee porraskäytävään nähden alhaalla. On tärkeää, että porraskäytävän alaosassa toteutuu vaaditut ilmavirtakriteerit oviaukoissa ja porraskäytävä paineistuu tehokkaasti enemmänkin alaosasta kuin yläosasta.

Optimaalisessa sijoittelussa puhalluspiste on porraskäytävän alaosassa ja paineenalennuspelti portaan yläosassa, jolloin porraskäytävä paineistuu tasaisesti. Vaihtoehtoisesti puhalluspisteitä voi olla useampiakin porraskäytävän eri kerrostasoilla kuten kuvassa 14.



Kuva 14. Paineistusjärjestelmän puhalluspisteitä.

Kuvissa 3 ja 4 puhalluspiste oli poistumistieportaan yläosassa. Jos puhalluspiste olisi ollut skenaarioissa Y4 ja Y9 alempana porrashuonetta, olisi todennäköisesti saavutettu enemmän aikaa ennen savun leviämistä porraskäytävään. Skenaariossa Y4 avoimella yläovella olisi ollut pienempi vaikutus portaan alaosan paineistukseen. Skenaariossa Y9 olisi saatu alaoven ovirakoon suurempi virtausnopeus.

Puhalluspistettä ei kannata sijoittaa liian lähelle poistumistieovia. Puhalluspisteen lähellä dynaaminen paine saattaa aiheuttaa häiriötä oven käytölle:

- Porraskäytävän alaosassa oven avaaminen voi olla työläämpää paineistetun käytävän suuntaan kuin mitä staattinen 50 Pa:n paine-ero muuten aiheuttaisi.
- Porraskäytävän yläosassa ovi voi jäädä raolleen kun puhallin käy suurilla kierroksilla kuvan 6 mukaisessa paineistuksen tilanteessa t_3 , Ulko-oven jäädessä raolleen puhaltimen käy maksimilla, koska paine karkaa avoimesta ovesta. Ulko-oven oma paino ei välttämättä riitä sulkeutumaan omavoimaisesti. Portaan alaosa ei silloin paineistu kunnolla.
- Sama saattaa tapahtua, jos puhalluspiste on liian lähellä paineenalennuslaitetta. Puhalluspisteen ulospuhallusvoima saattaa olla enemmän, mihin paineenalennuslaite on säädetty sulkeutumaan.

8.6 Äänenvaimennus

Paineistuslaitteiston tilavarauksia tehdessä tulee mahdollisesti huomioida äänenvaimentimien tilantarve. Jos kohteessa on äänievakuointijärjestelmä, ei puhaltimen aiheuttama melu saa haitata hätäkuulutusten kuuluvuutta ja ymmärrettävyyttä.

Puhallinvalinnalla voidaan vaikuttaa paineistuksen aiheuttamaan äänenpainetasoon ratkaisevasti. Ääniteknisesti hyvällä ja huonolla puhallinvalinnalla voi olla jopa 20 dB:n ero äänenpainetasoon samoilla puhaltimen tuottoarvoilla.

8.7 Kanaviston tilavaraussuunnittelu

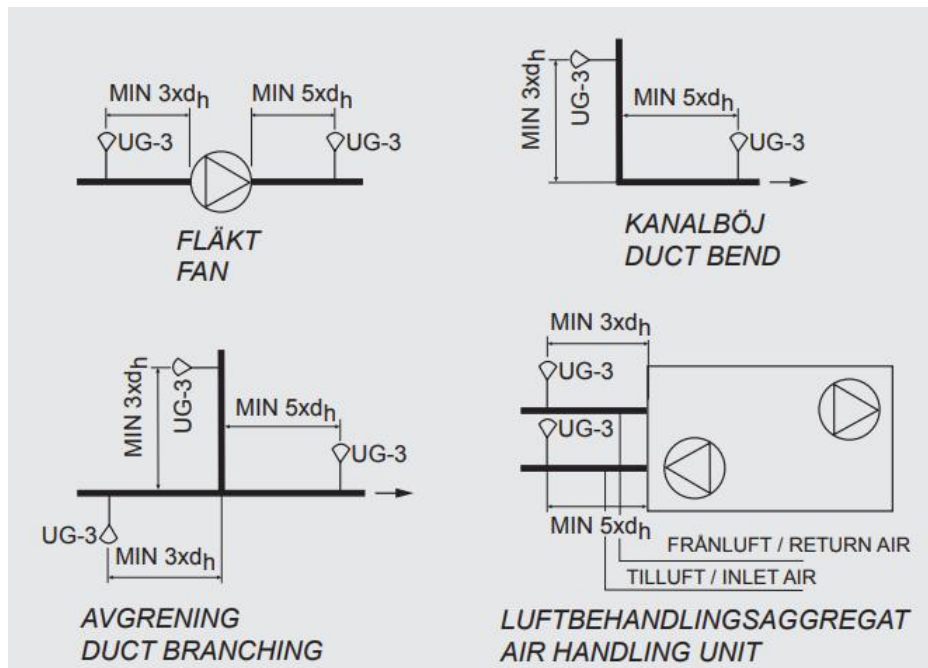
Maanalaisissa kohteissa paineistusjärjestelmä vaatii paljon tilaa, joka tulee ottaa huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa tilavarauksia suunniteltaessa. Suuri tilantarve on etenkin silloin kun paineistuksen puhalluspiste sijoitetaan maantasokerrosten alapuolelle. Jo kaksi samalta poistumissuunnalta liittyvää poistumistieovea, mitoiltaan 1,2 m x 2,1 m, johtavat ilmavirtakriteeriin perustuvan mitoitusilmavirran niin suureksi, että kanavakoko on käytännössä vähintään Ø800. Pystykanaville pitää varata tila paloeristyneen, sillä harvoin kanavan voi sijoittaa poistumistiereitin portaikkoon vaan kanavareitti löytyy toisesta palo-osastosta. Luonnosvaiheessa kanavareitti puhaltimiseen tulisikin mallintaa oikean kokoisena, jotta voidaan riittävän aikaisin vaikuttaa ympäröiviin kuiluihin ja rakenteisiin.

Kanavoitavien puhaltimen sijoittelussa tulee ottaa huomioon aksiaalipuhaltimen molemmille puolille tarvittava rauhoitusetäisyys, joka on 1-2-kertaisesti puhaltimen halkaisija.

Myös puhallinta ohjaavalle taajuusmuuttajalle tulisi löytyä helposti saavutettava paikka puhaltimen läheisyydestä. Taajuusmuuttaja tulee suojata palolta, jotta se säilyy toimintakykyisenä savunhallintajärjestelmälle vaaditun ajan. [4, s.7.]

Puhaltimen ja kanaviston kiinnityksiin käytettävät asennusmateriaalit tulee olla sellaisia, että ne ovat palonkestäviä ja kestävät paikallaan palossa vaaditun toiminta-ajan verran.

Kanavaan sijoitettavan savukaasuanturin tarvitsema kanavan rauhoitusetäisyys tulee varmistaa etukäteen käyttämällä suunnittelussa jonkun valmistajan esimerkkituotetta. Huonoin tilanne on, että savukaasuanturia ei ole aiemmin huomioitu kanavasuunnittelussa ja todetaan, että valittu anturi vaatii enemmän rauhoitusetäisyyttä kuin on mahdollista järjestää. Kuvassa 15 on esitetty erään valmistajan sijoitusohjeita kanavaan sijoitettavalle savukaasuanturille.



Kuva 15. Savukaasuanturin vaatima suoran kanavan osuus [15].

Mikäli savukaasuanturi on sijoitettu valmistajan ohjeiden vastaisesti, se ei pysty välttämättä tunnistamaan kanavaan virtaavaa savua, jos savu virtaa kanavassa epätasaisesti.

Kanavisto on suunniteltava siten, että savukaasuanturi- ja muut kanavalaitteet on helppo huoltaa ja putsata. Paineistuksessa käytettävä ulkoilma on täysin suodattamatonta, joten jo huolto- ja testiajossa kanava likaantuu nopeasti. Huollon kannalta hyvä laitesijainti on sellainen, että ei tarvitse rakentaa erillisiä telineitä saavuttaakseen huollettava kohde.

8.8 Muuta suunnittelussa huomioitavaa

Putkien jäätymisriski paineistuksen aikana

Paineistuksessa ulkoa otettava ilma puhalletaan sisätilaan täysin käsittelemättömänä. Näin ollen sisään puhallettavan ilman lämpötila voi olla kylmää pakkasilmaa. Kun paineistuksen ilmavirrat ovat suuria, useita kuutiometrejä sekunnissa, on sisään tuleva kylmäteho niin suuri, että paineistettavassa tilassa vettä sisältävät putket voivat jäätyä nopeasti.

Putkistosuunnittelussa tulee välttää turhia putkien vetoja paineistettavissa tiloissa. Jos tilassa on esimerkiksi pikapaloposti, kannattaa pikapaloposti ja kylmävesiputki lämmöneristää hyvin.

Jos tilassa on sprinkleriputkia, kannattaa tilaa palveleva sprinklerijärjestelmä harkita toteutettavan kuivahälytysventtiilillä. Vettä sisältävä kuivahälytysventtiili sijoitetaan lämpöisen tilan puolelle, jolloin vesi ei pääse jäätymään. Suutinputkisto on täytetty paineilmalla, joka ei jäädy. Liitteessä 2 on esitetty kuivahälytysventtiilin periaate.

Ilmanvaihtokanavien palopellit

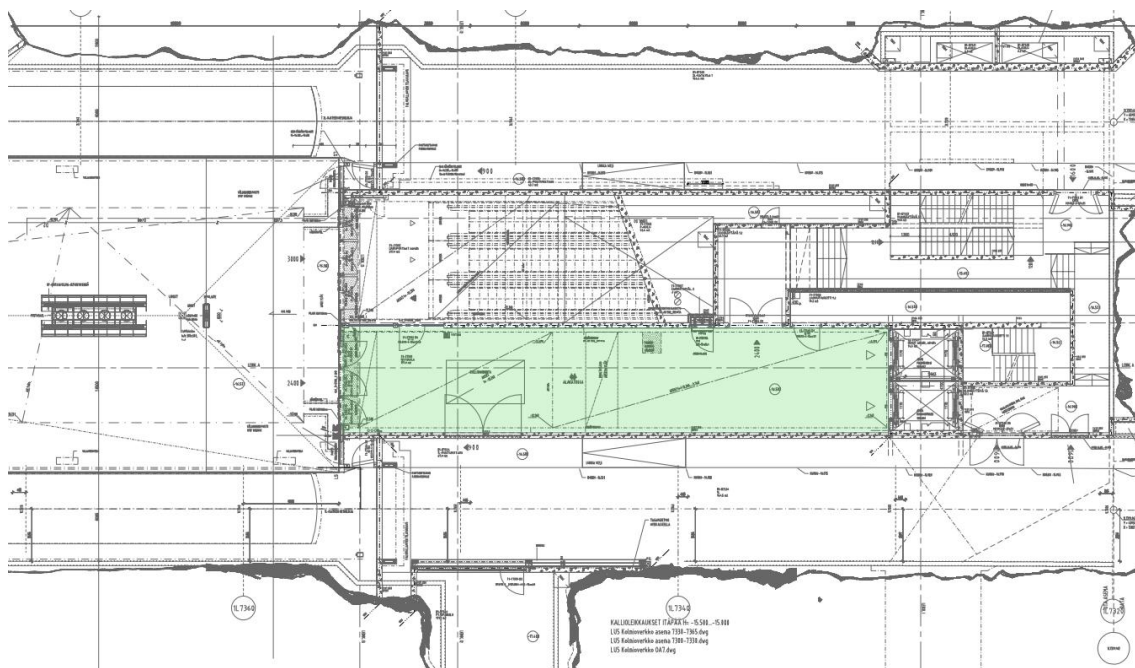
Paineistettavaa tilaa palvelevat kanavat tulee varustaa moottoriohjatuilla palopelleillä, jotka sulkeutuvat toisen vaiheen paloilmottimen viestistä. Tällä toimenpiteellä ehkäistään vuotoilmareittien syntymistä ja paineen karkaamista.

9 Paineistusjärjestelmän mittaukset ja säätö esimerkkikohteessa

9.1 Esimerkkikohteen hissiaula

Seuraavassa kuvaillaan lyhyesti, miten esimerkkikohteen hissiaulan paineistusjärjestelmä aseteltiin säätöihinsä mittausten avulla.

Kuvassa 16 on esitetty laiturintasolla oleva hissiaula. Laiturialue jää hissiaulan länsipuolelle. Hissiaulasta pääsee evakuointihisseillä ja uloskäytäväporrasta pitkin maantasokerrokseen asti. Myös sammutusreitti päättyy hissiaulan kohdalle.



Kuva 16. Hissiaula on esitetty vihreällä

Hissiaulan paineistusjärjestelmään on lisätty paineenalennuspelti tasaamaan isoja painepiikkejä. Hissiaulan paineistuksen (+50 Pa) vertailupainealue on laiturialue (0 Pa). Mitoitusilmavirraksi oli valittu 10 m³/s.

Paineistuksen mittaus- ja säätövaihe tuli ajankohtaiseksi vasta rakentamisen loppuvaiheessa, kun järjestelmään liittyvät tilat ja tekniikka-asennukset oli suoritettu.

Ennen mittaus- ja säätöitä oli kaikki ylimääräiset ilmavirtojen vuotokohtat rajattava pois tarkastamalla, että kaikki rakennusaikaiset tekniikkalävistyksset tilojen välillä oli tilkitty umpeen. Kaikki paineistettavaan tilaan johtavat ovet suljettiin, sekä merkittiin paperilapuilla siten, että niistä ei kuljettu mittausten aikana. Paine-eroantureiden kytkennät tarkistettiin.

9.2 Ilmanvirtausnopeuksien mittaaminen oviaukossa

Paineistuslohko kytkettiin päälle savunpoiston ohjauskeskuksen käsikytkimellä. Käynnistyskäsken saatuaan avautuivat ensin paineistuskanaviston luukut ja pellit ja näiden jälkeen käynnistyi puhallin. Puhallinta ohjattiin taajuusmuuttajan säätöviestillä avulla, kunnes hissiaulan ja laiturin välinen tavoiteltava paine-ero, noin 50 Pa, tavoitettiin.

Paineistusstandardin edellyttämää vähimmäisvirtausnopeutta avoimessa oviaukossa mitattiin mikromanometrillä. Mikromanometri on mittauslaite, jolla voi mitata paine-eroa, staattista painetta, ilmamäärää (l/s, m³/h) ja ilmannopeutta (m/s) [7]. Ilmannopeuden mittausta varten mikromanometriin liitetään kuvassa 17 oleva siipipyöranemometri. [7.]



Kuva 17. Mikromanometri ja siipipyöranemometri ilman nopeuden mittausta varten.

Kun paineistetun poistumisalueen painealue oli aseteltu säätimen ja taajuusmuuttajan avulla noin 50 Pa:iin, avattiin ensimmäinen paineistetulle alueelle johtava poistumistie-ovi. Mittalaite asetettiin avoimen oviaukon kohdalle. Ovi kerrallaan avattiin ja mitattiin ilmannopeuksia oviaukoissa. Oikean puhaltimen kierrosnopeuden löytäminen vaati

useampia ovien avaamisia, mittauksia ja säätöjä. Myös paineenalennuspellin painojen säädöillä haettiin optimaalista tulosta. Tavoite oli löytää sellainen puhaltimen kierrosnopeus, että kun kolmaskin poistumistieovi on auki, ilmavirta saavuttaa mahdollisimman nopeasti vähimmäisilmanopeuden 0,75 m/s. Toisaalta liian suuri nopeus oviaukossa aiheuttaa ovien sulkeuduttua pitkäkestoisempaa huojuntaa ennen kuin puhaltimen säätö on palautunut +50 Pa ($\pm 10\%$) painealueelle. Useamman testin jälkeen kirjattiin seuraavat nopeudet oviaukoissa:

- ilmanopeus yhdessä oviaukossa 2,5 m/s
- ilmanopeus kahdessa oviaukossa 1,2 m/s
- ilmanopeus kolmessa oviaukossa 0,9 m/s

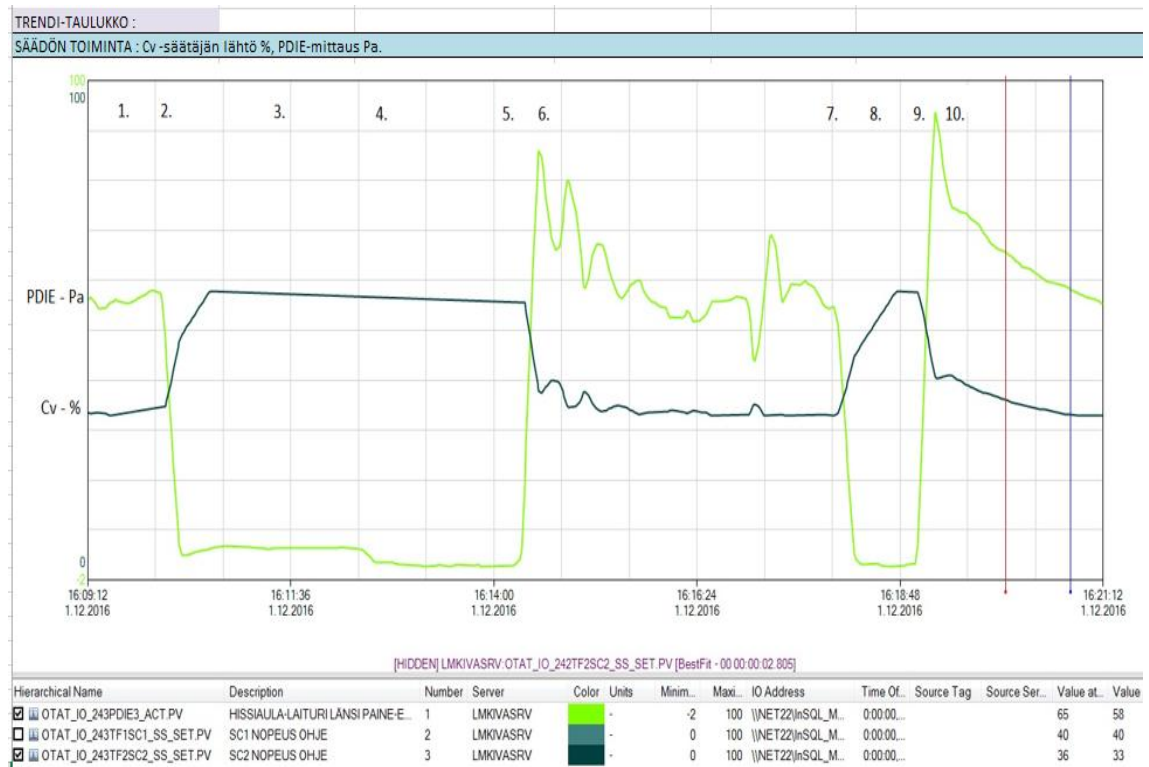
9.3 Paine-erot mittaustoimenpiteiden aikana

Ilmavirtamittausten aikana, kun ovia avattiin ja suljettiin, saatiin automatiikkajärjestelmään kytketylle tietokoneelle toteutuneista paine-eromuutoksista seurantatietoa.

Kuvassa 18 on esimerkkikohteen paineistusjärjestelmän säätökäyrät mittaushetkellä.

- Vihreä viiva kuvaa paine-eroanturin mitta-arvoa laiturin ja hissiaulan välillä.
- Mustaviiva kuvaa säätimen ohjausviestiä puhaltimen taajuusmuuttajalle.

Trendikäyrien yläpuolella olevat numerot 1–10 kuvaavat mittauksessa tehtävää toimenpidehetkeä: ovien avaamista ja sulkemista sekä paineenalennuspellin (PAP) avautumista.



Kuva 18. Säädön toiminta toimenpiteiden 1–10 aikana.

Kuvassa 18 säätökäyrästä x-akselilla on aika ja y-akselilla on tilojen välinen paine-ero.

Taulukossa 4 on kerrottu kuvan 18 aikaiset toimenpiteet ja toimenpidehetken aikaiset ilmavirrat oviaukossa sekä mitattu paine-ero.

Taulukko 4. Mittaustulokset toimenpiteiden 1–10 hetkillä.

Klo	TOIMENPITEET	OVI-VIRTAUS m/s	PDIE Pa
n. 16.09:00	1. Alkutilanne	--	55
n. 16.10:00	2. Laiturin oven 1.lehti avataan	2,5	10
n. 16.11:00	3. Laiturin oven 2.lehti avataan	1,2	8
n. 16.12:00	4. Ovi liukuporras-tilaan avataan	0,9	3
n. 16.14:30	5. Kaikki ovet suljetaan, paine-piikki	--	88
n. 16.15:00	6. PAP-pelti avautuu, paine normalisoituu	--	57
n. 16.18:00	7. Laiturin oven 1.lehti avataan	2,5	5
n. 16.18:15	8. Laiturin oven 2.lehti avataan	1,3	3
n. 16.19:00	9. Kaikki ovet suljetaan, paine-piikki	--	93
n. 16.19:30	10. PAP-pelti avautuu, paine normalisoituu	--	57

Alkutilanteen paine-ero 55 Pa on standardin mukaisessa toleranssissa ± 50 Pa.

Kun laiturin ja hissiaulan välinen ensimmäisen ovi on avattu, tilojen välinen paine-ero laskee 10 Pa:iin. Virtaus yhdessä oviaukossa on 2,5 m/s.

Kun kaikki kolme ovea on avattu, ollaan puhaltimen mitoitustilanteessa ilmannopeuden ollessa 0,9 m/s kaikissa oviaukoissa. Standardin mukainen vähimmäisilmannopeus 0,75 m/s ylittyy.

Ovien sulkeminen osoittaa, että puhallin ei heti ehdi reagoimaan paineenmuutokseen, jolloin paine-eropiikki nousee jyrkästi ylös. Paineenalennuspelti leikkaa paine-eropiikin ennen 100 Pa:n paine-eroa. Tämän jälkeen paine-ero alkaa normalisoitumaan lähelle tavoitepaine-eroa.

10 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä laadittiin ohjeita tukemaan maanalaisten paineistusjärjestelmien suunnittelua. Työssä haluttiin nostaa esille etenkin paineistusjärjestelmän merkitys maanalaisista kohteiden poistumisteillä. Paineistuksen merkitystä turvalliseen poistumiseen korostettiin linkittämällä poistumisen alkuvaiheita ajallisesti paloilmoittimen toimintaan, ja paineistuksen nopean käynnistymisen suomaan pidempään poistumisaikaan.

Koska paineistusjärjestelmä on osa savunhallintajärjestelmää, käsiteltiin työssä laajemmin savunhallintajärjestelmälle asetettuja vaatimuksia, jotka vaikuttavat myös paineistuksen laitteistoon.

Paineistukseen liittyvää standardia EN 12101-6 avattiin yleisellä tasolla ja keskityttiin enemmän standardin niihin osiin, mitkä soveltuvat paremmin maanalaisiin kohteisiin. Samalla käsiteltiin savunhallintajärjestelmien ympärillä olevia standardeja, sekä paloturvallisuusmääräyksiä.

Suunnitteluosiossa käsiteltiin tarkemmin laitteiden vaatimuksia ja sitä miten ne liittyvät toisiinsa. Työssä esiteltiin jotain käytännön vinkkejä sekä haluttiin nostaa esille mahdollisia ongelmakohtia, jotka eivät tule esille standardista. Osa käytännön vinkeistä on

saatu tässä työssä esimerkkikohteena olleen metroaseman suunnittelun ja rakentamisen aikana.

Esimerkkikohteen mittauksien havainnollistamisella tuotiin esille käytännön näkökulmaa laitteiston toiminnasta ja ohjaussäädön tarkkuudesta.

Kirjallisuutta tutkiessa laajeni myös oma tietämys koko savunhallintajärjestelmän toiminnasta ja siitä miten eri paloturvallisuusjärjestelmät linkittyvät toisiinsa.

Mielestäni opinnäytetyö selventää standardin ohjeita sekä antaa hyvät mahdollisuudet onnistuneeseen paineistusjärjestelmän suunnitelmaan.

Lähteet

- 1 RIL 233-2007. Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelu – Perusteet ja soveltamisohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2007.
- 2 SFS-EN 12101-6 + AC - Savunhallintajärjestelmät. Osa 6: Paineistus.
- 3 E1 Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus Määräykset ja ohjeet 2011.
- 4 ST 666.10, Savunhallintajärjestelmä. Suunnittelu. ST Kortisto.
- 5 848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
- 6 Hostikka Simo, Mikkola Esko, Rinne Tuomo, Tillander Kati & Weckman Henry, 2005. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. Espoo: VTT.
- 7 Mikromanometri 2018. Verkkodokumentti. Kimrok Oy.
<http://www.kimrok.fi/sivut/mikromanometrit/airflow-pvm620-mikromanometri>. Luettu 10.3.2018.
- 8 Aksiaalipuhallin 2018. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=22acb40a-199c-4283-b4c0-d619b91be683>. Luettu 1.3.2018.
- 9 Stairwell Pressurization Systems. Continuing Education and Development, Inc. Verkkodokumentti.
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Stairwell%20Pressurization%20Systems.pdf>. Luettu 2.2.2018.
- 10 Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta. Ympäristöministeriö, muistio 28.11.2017.
- 11 Luotettavuusteknisten menetelmien soveltaminen urheiluhallin poistumisturvallisuuden laskentaan. Tuomas Paloposki, Jukka Myllymäki & Henry Weckman. VTT Espoo 2002.
- 12 RIL 232-2012 Rakennusten savunpoisto. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito - Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012.
- 13 Pressurisation Control Systems, Sodeca. Verkkodokumentti.
http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/EN/FO37_SistemasPresurizacion_EN.pdf. Luettu 25.3.2018.

- 14 SFS 6000-5-56:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-56: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Turvajärjestelmät.
- 15 Savukaasuanturin sijoittelu. Verkkodokumentti. Calectro AB.
http://www.calectro.com/images/product_files/ug3a4_a5_sv_en_in.pdf. Luettu 4.4.2018.
- 16 Paineenalennuspelti BRD. Verkkodokumentti. Halton.
https://www.halton.com/fi_FI/marine/products/-/product/BRD. Luettu 4.4. 2018.

Paineistusluokkien A, B, C, D, E, F mukaisia mitoituskriteereitä

Differential pressure criterion

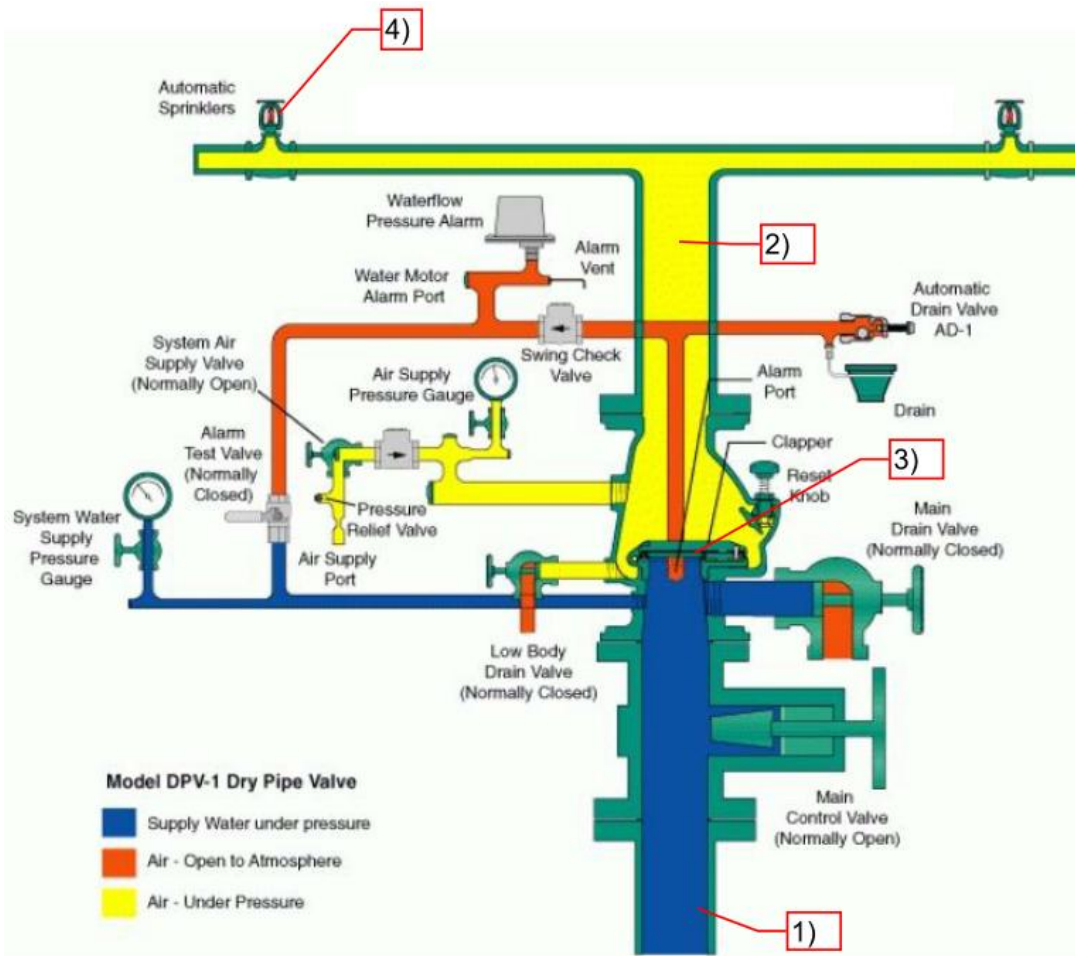
SYSTEM CLASS	A	B	C	D	E	F
Differential pressure between staircase and living quarters (all the doors closed)	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa
Differential pressure on both sides of the living quarters door (final exit door open)	-	-	10 Pa	10 Pa	10 Pa	-
Doors open (differential pressure criterion) Final exit to exterior	NO	NO	YES	YES	YES	NO
Doors open (differential pressure criterion) Fire floor	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Doors open (differential pressure criterion) No. of floors other than fire floor	0	0	0	1	2	0
Differential pressure (between lobby and living quarters)	45 Pa*	45 Pa	45 Pa*	45 Pa*	45 Pa*	45 Pa
Differential pressure (between life shaft and living quarters)	-	50 Pa	-	-	-	50 Pa

Air flow criterion

SYSTEM CLASS	A	B	C	D	E	F	
						Situation 1	Situation 2
Air speed at fire floor door (doors open)	-	2 m/S	0.75 m/S	0.75 m/S	0.75 m/S	-	1 m/S
Air speed at fire floor staircase (doors open)	0.75 m/S	-	-	-	-	2 m/S	-
Doors open Final exit to exterior	NO	YES	NO	YES	YES	YES	YES
Doors open Lift	NO	YES	NO	NO	NO	YES	NO
Doors open Staircase – fire floor lobby	YES	YES	YES	YES	YES	YES	NO
Doors open Staircase – lobby on floor other than fire floor	NO	YES	NO	NO	NO	YES	NO
Doors open Fire floor	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Doors open No. of floors other than fire floor	0	0	0	0	1	0	0

Lähde: [13]

Kuivahälytysventtiilin toimintaperiaate



Kuivahälytysventtiili jakaa paineilman ja veden eri puolelle. Kuivahälytysventtiili sijaitsee lämpöisessä tilassa, missä ei ole jäätymisriskiä. Seuraavassa on esitetty lyhyesti toimintaperiaate kun

- 1) Vettä syöttävä runkoputki
- 2) Paineilma putkessa. Paineilma saadaan aikaan kompressorilla.
- 3) Kuivahälytysventtiilissä oleva läppä, joka erottaa vesi- ja ilmapuolen toisistaan. Läpän pinta-ala ilmapuolelle on suurempi kuin vesipuolelle. Sen takia läppään kohdistuva kokonaispaine on suurempi ilmapuolella kuin vesipuolella.
- 4) Sprinklerisuutin

Tulipalossa muodostunut lämpö rikkoo sprinklerisuuttimen, jolloin paineilma karkaa suuttimen kautta ulos putkesta. Kuivahälytysventtiilissä ilmapuolella läppään kohdistuva paine laskee värittömästi niin paljon, että vedenpaine läpän toisella puolella avaa läpän. Vesi virtaa putkessa avoimen sprinklerisuuttimen kautta ulos.

Lähde: Kuva on verkosta luettu 27.3.2018: <https://sportbig.com/piping-diagram/dry-pipe-sprinkler-system-diagram/attachment/sprinkler-valve-animations-with-dry-pipe-sprinkler-system-diagram/>.