

## Tietunnelin rakennetekniset ohjeet





# Tietunnelin rakennetekniset ohjeet

29.6.2017

Liikenneviraston ohjeita 34/2017

Liikennevirasto  
Helsinki 2017

*Kannen kuva: Liikenneviraston kuva-arkisto: Kolsilan tunnelin suuaukon rakentamista*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-317-432-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Tekniikka ja ympäristö -osasto

Vastaanottaja

-

Säädösperusta

-

Korvaa/muuttaa

Tietunnelin rakennetekniset ohjeet,  
Liikenneviraston ohjeita 14/2015

Kohdistuvuus

-

Voimassa

1.7.2017 alkaen

Asiasanat

Tunnelit, tiet, mitoitus, suunnittelu, ohjeet

## Tietunnelin rakennetekniset ohjeet

Tätä ohjetta käytetään tietunneleiden rakenneteknisessä suunnittelussa. Muiden tekniikka-alueiden vaatimukset esitetään Liikenneviraston muissa ohjeissa.

Tätä ohjetta täydennetään hankekohtaisissa vaatimuksissa.

Tämän ohjeen mukaisesti suunniteltu rakenne edellytetään toteutettavan voimassa olevan InfraRYLin vaatimusten mukaisesti.

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

Kehittämispäällikkö

Antti Rytönen

*Ohje hyväksytään sähköisellä allekirjoituksella.*

*Merkintä sähköisestä allekirjoituksesta näkyy viimeisellä sivulla.*

LISÄTIETOJA  
Antti Rytönen  
Liikennevirasto  
puh. 0295 34 3598

## Esipuhe

Tämä v. 2015 julkaistun ohjeen päivitys on tehty Liikenneviraston toimeksiannosta A-Insinöörit Suunnittelu Oy:ssä loppuvuoden 2016 ja alkuvuoden 2017 aikana.

Ohjeen ovat päivittäneet Mika Lemmetyinen, Olli Salo (Saanio & Riekkola Oy) ja Kari Niemi (A-Insinöörit Suunnittelu Oy). Työtä on ohjannut asiantuntijaryhmä, johon ovat edellä mainittujen lisäksi kuuluneet Antti Rytönen ja Laura Väisänen Liikennevirastosta. Ryhmän apuna on ollut myös muita asiantuntijoita.

Ohjepäivityksessä tehdyt keskeiset tarkennukset:

- Rakenneteknisiä määritelmiä on lisätty ja päivitetty (luku 1.1).
- Kallioankkureiden kuumasinkitysvaatimuksia on muutettu (luku 2.6).
- Jäätymisen lisäkuorma on korvattu jäätymiskuormalla ja määrittely on muutettu (luku 3.4).
- Räjähdyspainekuormien määrittelyä on päivitetty (luku 3.9) ja ohjeessa on uusi liite 4, joka käsittelee räjähdyskuorman dynaamisen kuormakertoimen määrittämistä.
- Paloteknisen mitoituksen käytäntöjä ja määrittelyä on päivitetty (luku 4.7).
- Rakenneseosien palosuojausvaatimukset sekä onnettomuustilanteiden mitoitussvaatimukset on lisätty (luku 4.7).
- Ovia ja tarkastustiloja käsittelevät luvut (5.7 ja 5.8) on lisätty.
- Kantavan kalliorakenteen ja verhourakenteen väliin on lisätty tarkastustila (luku 5.8).
- Uusi liite 5 käsittelee mikrokuitumäärän kokeellista määrittämistä.

Helsingissä kesäkuussa 2017

Liikennevirasto  
Tekniikka ja ympäristö -osasto / taitorakenneyksikkö

# Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ .....	7
1.1	Rakennetekniset määritelmät .....	7
1.2	Tietunnelin rakenneosien luokittelu .....	10
1.3	Rajaukset .....	10
1.4	Määräykset ja suunnitteluohjeet .....	11
2	MATERIAALIOMINAISUUDET JA SÄILYVYYS.....	12
2.1	Kallio .....	12
2.2	Paikallavalu- ja elementtibetoni.....	12
2.3	Ruiskubetoni .....	17
2.4	Betoniteräksiset, jänneteräksiset, kuidut .....	17
2.5	Teräsrakenteet, kiinnikkeet .....	18
2.6	Lujituspultit ja kallioankkuroinnit .....	19
2.7	Varusteet ja laitteet.....	19
2.8	Materiaalien osavarmuusluvut.....	19
2.9	Käyttöikävaatimukset .....	19
3	KUORMAT JA MITOITUSPERUSTEET .....	21
3.1	Yleistä .....	21
3.2	Osavarmuusluvut ja kuormitusyhdistelyt .....	21
3.3	Liikenteen aiheuttamat painekuormat .....	22
3.4	Lumi- ja jäätymiskuormat .....	22
3.5	Lämpötilakuormat .....	22
3.6	Lohkareiden putoamiskuorma .....	23
3.7	Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat.....	23
3.8	Törmäyskuormat.....	24
3.9	Räjähdyspaineekuormat.....	25
3.9.1	Räjähdyspaineekuormien käyttö.....	25
3.9.2	Räjähdyspaineekuormat .....	25
3.10	Muut lisäkuormat.....	26
3.11	Työnaikaiset kuormat .....	26
4	RAKENNETEKNINEN MITOITUS.....	27
4.1	Yleistä .....	27
4.2	Rakenneanalyysit .....	27
4.3	Murtorajatilat .....	27
4.4	Käyttörajatilat .....	27
4.5	Väsytystarkastelut.....	27
4.6	Onnettomuustilanteet .....	28
4.7	Palotekninen mitoitus.....	29
4.7.1	Yleistä.....	29
4.7.2	Vaatimukset .....	31
4.7.3	Mitoitus .....	33
5	RAKENTEELLISET VAATIMUKSET .....	37
5.1	Lämpötekniinen mitoitus .....	37
5.2	Tunnelin vedeneristys ja kuivatus.....	37
5.3	Kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteet .....	39
5.3.1	Kallion lujitusrakenteet.....	39
5.3.2	Injektointi ja vedeneristys .....	39

---

5.4	Suuaukkorakenteet .....	40
5.5	Törmäysrakenteet.....	43
5.6	Korkeudenrajoitinportaalit .....	44
5.7	Ovet .....	44
5.8	Tarkastustila.....	45
6	SUUNNITELMAT .....	47
6.1	Yleistä .....	47
6.2	Suunnitelmien tarkastaminen.....	47

**LIITTEET**

Liite 1	Esimerkkejä tunnelin rakenteiden rasitusluokista ja vähimmäisvaatimuksista
Liite 2	Verhousrakenteen kuormitusyhdistelyt
Liite 3	Palo- ja räjähdysmitoituksen lähtökohtainen laajuusvalintataulukko
Liite 4	Räjähdyspaine kuorman dynaamisen kuormakertoimen teoriaa
Liite 5	Kuitupitoisuuden määrittäminen



# 1 Yleistä

## 1.1 Rakennetekniset määritelmät

### Deflagraatio

Humahdus tai räjähdysmäinen palaminen. Deflagraatiossa huippupaine vaikuttaa detonaatiota myöhemmin palamisen alkamishetkestä. Palamisvyöhyke etenee nopeudella, joka on pienempi kuin äänen nopeus reagoimattomassa aineessa.

### Detonaatio

Materiaalin räjähdysmäinen palaminen, jonka huippupaine vaikuttaa räjähdyshetkellä. Palamisvyöhyke etenee nopeudella, joka on suurempi kuin äänen nopeus reagoimattomassa aineessa.

### Huoltotunneli

Huoltoliikenteelle tarkoitettu tunneli.

### Kallioankkuri tai kalliotartunta

Rakenneosa, jota käytetään rakenteiden kiinnittämisessä kallioon. Kallioankkuri voi olla aktiivinen (jännitetty) tai passiivinen (jännittämätön).

### Kansi

Kantavilla rakenteilla (esim. pilarit, seinät) tuettu tien siltamainen kate, joka rakenneteknisesti mitoitetaan joko tunnelina tai siltana. Kansia ei ole rakennettu Liikenneviraston väylien päälle ohjeen julkaisun hetkellä.

### Kaukalo

Päältä avoin yhtenäinen kantava rakenne pohjaveden ja/tai maan painetta vastaan.

### Kuilu

Kuilu on pystysuora tai kallistettu yleensä maanalaisesta tilasta maan pinnalle johtava reitti. Kuilulla voidaan yhdistää eri korkeustasoissa sijaitsevia maanalaisia tiloja toisiinsa.

### Lujituspultti

Kalliomassan yhtenäisenä pitävä pultti.

### Lujitusrakenne

Lujitusrakenteen tehtävä on estää kallion löyhtyminen. Ruhjeisessa kalliossa se myös hidastaa kallion rapautumista. Lujitusrakenne voi koostua mm. lujituspulteista, ruiskubetonoinnista ja teräsverkosta.

### Palolle altis rakenne

Tulipalon vaikutuksille altistuva rakenne, joka on suojattava liitteen 3 mukaista paloa vastaan. Esimerkiksi verhousrakenne ja tunneliaukossa olevat kantavat betoni-rakenteet.

### Palosuojaamaton betoni

Betonia, jonka pinnassa ei ole suojaa antavaa erillistä palosuojaarakennetta.

### Pelastustunneli

Tunneliputkesta rakenteilla erotettu palo-osastoitu tunneli, joka toimii sekä pelastustienä että uloskäytävänä.

### Poistumisreitti

Poistumisreitti on tunnelin mistä tahansa kohdasta ulkoilmaan tai muulle turvalliselle paikalle johtava poistumiseen tarkoitettu reitti. Poistumisreitille olennaisinta on turvallisuus ja helppokäyttöisyys.

### Päällerrakennettu tai päällerrakennettava tietunneli

Tietunneli, jonka päälle tai välittömään läheisyyteen on rakennettu, kaavoitettu tai aikomus kaavoittaa rakennuksia. Tie- ja rautatiesiltojen rakentaminen ei ole päällerrakentamista.

### Rakenteellinen palosuojaus

Menetelmät, joilla estetään tai hidastetaan kantaville rakenteille tulipalosta aiheutuvia heikentäviä tai tuhoavia vaikutuksia. Yleisesti käytettyjä rakenteellisia palosuojausmenetelmiä ovat palosuojalevyt, ruiskutettavat ja levitettävät palosuojamassat sekä rakenteen ylimerkitseminen.

### Seinän alaosa

Tietunnelin seinän alaosa, johon ajoneuvo voi törmätä.

### Tekninen tila

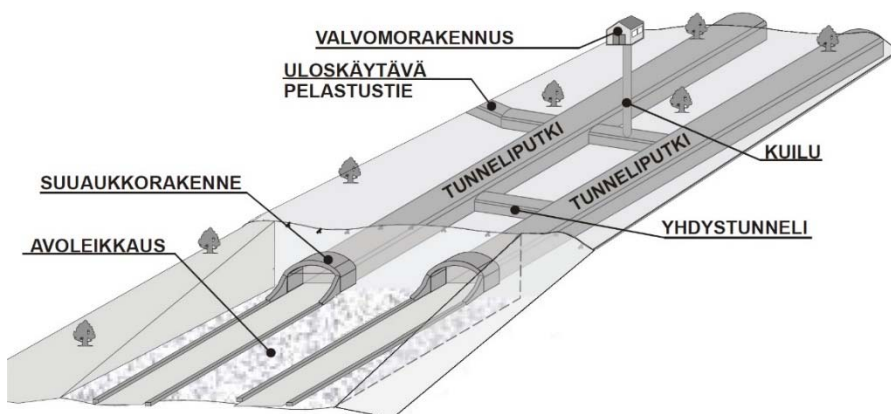
Tietunnelin teknisille järjestelmille ja laitteille tarkoitettu erillinen tila. Teknisiä tiloja ovat muun muassa valvomorakennus, mahdolliset laite- ja huoltotilat, vuoto-, varo- ja jätevesialtaat, pumppaamot sekä tekniikkakäytävät.

### Tietunneli

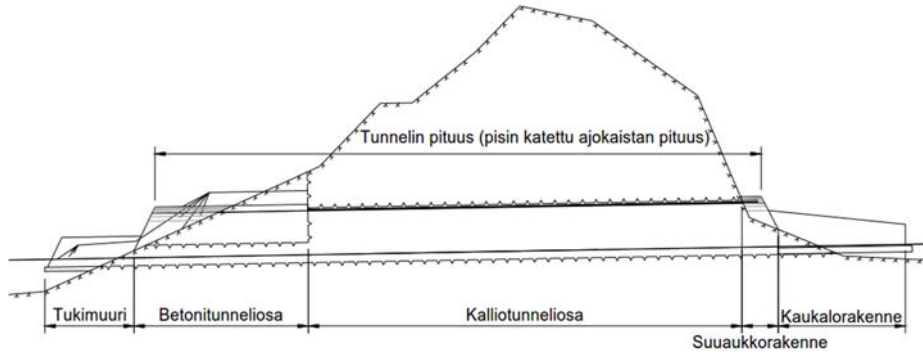
Tietunneli on yhden tai usean ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun tunneliputken sekä niihin liittyvien suuaukkorakenteiden, kaukaloiden, kuilujen, yhdyskäytävien ja teknisten tilojen muodostama kokonaisuus (Kuva 1).

*Tietunnelin pituus määritetään Liikenneviraston ohjeen 14/2014 "Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset" mukaan. Tietunnelin pituudella tarkoitetaan pisimmän ajokaistan pituutta, joka on kokonaan katettu (*

*Kuva 2). Tässä ohjeessa tietunnelin pituudella ei ole merkitystä rakenteellisen mitoituksen kannalta.*



Kuva 1. Tietunnelin päärakenneosat (Muokattu, alkuperäinen: Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2014)



Kuva 2. Tietunnelin pituusleikkaus (Muokattu, alkuperäinen: Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2014)

### Tukimuuri

Pysyvä maanpaineseinä.

### Tunneliaukko

Verhousrakenteen, seinän alaosan ja tienpinnan rajaama tunnelin poikkileikkaus tunneliputkessa. Tunneliaukkoon sisältyy tieliikenteen tarvitsema vapaa leveys ja vapaa korkeus, joiden alueella ei saa olla kiinteitä eikä myötäviä esteitä, sekä reuna-alueet, joissa voi olla edellä mainittuja esteitä.

### Tunneliputki

Tunneliputki on rakenteellisesti yhtenäinen, molemmista päistään maan pinnalle johtava, sivuilta ja päältä katettu tila. Tunneleita voidaan ryhmitellä putkien määrän mukaan.

### Työtunneli

Varsinaisen tietunnelin rakentamista varten tehty tunneli, joka ei jää liikenteen käyttöön.

### Verhousrakenne

Tunnelin kantavista rakenteista ripustettu holvin ja seinät verhoava rakenne kannatin- ja eristysrakenteineen. Verhousrakenne toimii tunnelin veden-, lämmön- ja paloeristeenä. Tyypillisiä verhousrakenteita ovat betonitunnelin palosuojaeristeet ja kalliotunnelin ruiskubetoniverhous.

### Yhdyskäytävä

Kahden tunneliputken välillä oleva palo-osastoitu käytävä, joka palvelee huoltoa, teknisiä järjestelmiä sekä mahdollisesti henkilö- ja huoltoajoneuvoliikennettä.

### Yhdystunneli

Louhittu tai rakennettu tunneliputkia yhdistävä tila, jonka sisällä voi olla esimerkiksi yhdyskäytäviä ja teknisiä tiloja.

## 1.2 Tietunnelin rakenneosien luokittelu

Tietunnelin mitoitettavat rakenteet jaetaan kantaviin rakenteisiin, sekundääriisiin rakenteisiin sekä varusteiden ja laitteiden kiinnitysosiiin. Rakenneosia on esitetty liitteen 1 kuvissa.

Kantavia rakenteita kiinnitysosineen ovat mm.

- Kallio sekä kallion lujitus- ja tiivistysrakenteet (kalliorakennesuunnittelu)
- Suuaukkorakenteet
- Betoni- ja terästunnelien kantavat rakenteet
- Kaukalorakenteet (osana tunnelin suuaukkoa)
- Tukimuurit (osana tunnelin suuaukkoa)
- Yhdyskäytävien ja -tunneleiden sekä kuilujen kantavat rakenteet
- Pohja- ja maatäyttörakenteet
- Teknisten tilojen kantavat rakenteet.

Sekundäärisiä rakenteita kiinnitysosineen ovat mm.

- Verhousrakenne
- Palosuojaus
- Tunnelin seinän alaosa
- Yhdyskäytävien ja kuilujen ei-kantavat rakenteet
- Korkeudenrajoitinportaali
- Teknisten tilojen ei-kantavat rakenteet
- Häikäisysoja.

Tyypillisiä kiinnitysosia vaativia varusteita ja laitteita ovat mm.

- Ovet
- Puhaltimet
- Portaalit
- Opasteet
- Valaisin- ja sähköhylyt
- Sammutusjärjestelmät
- Liikenteenhallintajärjestelmät
- Muut tekniset järjestelmät.

## 1.3 Rajaukset

Tämä ohje käsittelee tietunneleiden rakenneteknistä mitoitusta.

Tämä ohje koskee myös kansia ja soveltuvilta osin korjausrakentamista. Lisäksi ohjeessa esitetään päällerakentamisen vaikutus tietunnelin rakennetekniseen palo- ja räjähdysmitoitukseen. Muut päällerakentamisesta aiheutuvat vaatimukset esitetään Liikenneviraston muissa ohjeissa ja hankekohtaisissa vaatimuksissa.

Ohjeen lähtökohtana on kalliorakenneteknisiin laskelmin mitoitettu sekä valmiiksi lujitettu ja tiivistetty kalliotila. Kalliorakennetekninen mitoitus esitetään niitä koskevissa ohjeissa. Kappaleessa 5.3 Kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteet esitetään havainnollisuuden vuoksi, koska ne ovat Suomessa yleisiä kalliotunnelin rakentamismenetelmiä.

Kalliorakennesuunnitelmat liitetään osaksi tietunnelin suunnitelmia. Tunnelin kalliorakenteet mitoittaa kalliorakennesuunnittelija. Kalliorakennesuunnitelmissa esitetään kohteen louhinta, lujitus ja tiivistys.

Tässä ohjeessa ei käsitellä tie- ja liikenneteknistä mitoitusta. Tien mitoitukseen on annettu raja-arvoja turvallisuusnäkökulmasta ohjeessa ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014).

Tietunnelin teknisille laitteille ja turvallisuusjärjestelmille on esitetty vaatimuksia ohjeessa ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014).

## 1.4 Määräykset ja suunnitteluohjeet

Tunnelin rakenteet suunnitellaan noudattaen eurokoodeja kansallisten valintojen mukaisesti (kansalliset liitteet). Näiden ohella rakenteiden suunnittelussa noudatetaan tätä ohjetta sekä Liikenneviraston muita taitorakenteiden suunnittelu- ja soveltamisohjeita. Ohjeiden pätevyysjärjestys annetaan hankekohtaisesti.

Tunnelit on jaettu pituuden ja turvallisuusnäkökohtien mukaan eri luokkiin ohjeessa ”Tietunnelin hallinnointia ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet, Liikenneviraston ohjeita 14/2014”. Rakenneteknisessä mitoituksessa luokitus vaikuttaa ainoastaan palo- ja onnettomuusmitoitukseen (Liite 3).

Viitteellinen noudatettavien ohjeiden luettelo

- EU:n tietunneleita koskevat direktiivit
- Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) ohjeet ja suositukset
- Liikenneviraston ohje: ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014)
- Liikenneviraston antamat hankekohtaiset suunnitteluperusteet
- Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet
- Liikenneviraston eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI)
- Muut Liikenneviraston ohjeet
- Rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet.

## 2 Materiaaliominaisuudet ja säilyvyys

### 2.1 Kallio

Kallio on mineraaleista muodostuva kiteinen massa, jossa on rakoja, rikkonaisuusvyöhykkeitä, ruhjeita ja muita epäjatkuvuuksia, jotka aiheutuvat pääasiassa kallioperän ominaisuuksista ja siinä vaikuttavista jännityksistä. Kalliotilojen louhinta voi muuttaa sitä ympäröivän kallioperän ominaisuuksia, esimerkiksi jännitystilaa ja vedenjohtavuutta. Tämän ohjeen lähtökohtana on lujitettu ja tiivistetty kallio. Kalliotilat jaotellaan Eurokoodin 7 mukaisesti geoteknisiin luokkiin.

Kallio koostuu epäjatkuvuuksien rajaamista lohkoista. Lujituksella varmistetaan niiden pysyminen yhdessä. Irtonaiset lohkot (komut) poistetaan yleensä ennen lujitusta. Tiivistystoimenpiteillä vähennetään tai estetään kallioperässä olevien aineiden pääsy kalliotilaan, vähennetään tai poistetaan kallion lujitusrakenteisiin pohjavedestä kohdistuva paine sekä ohjataan mahdolliset vuodot hallitusti kalliotilan salaoja-järjestelmiin. Tiivistystoimenpiteistä huolimatta kalliossa virtaava kalliopohjavesi on huomioitava etenkin kalliotartuntojen suunnittelussa.

Kallion lujitusrakenteiden eurokoodin mukainen seuraamusluokka määräytyy kuten kantavien rakenteiden osalta. Rakennesuunnittelijan on tiedostettava kallioperän mahdollinen epähomogeeninen luonne erityisesti kallioon kiinnitettävien rakenteiden ja ankkurointien suunnittelussa. Kaikki vedetyt ankkuroinnit ulotetaan louhinnasta tai muusta syystä syntyneen rikkonaisuusvyöhykkeen sekä reunalohkojen läpi kiinteään kallioon. Kalliolujitusten ja tiivistysten suunnittelu on kalliorakennesuunnittelijan tehtävä. Rakenteiden ankkuroinnit ja kiinnitykset suunnittelee rakennesuunnittelija yhdessä kalliorakennesuunnittelijan kanssa. Kallion mahdolliset liikkeet huomioidaan liittyvien rakenteiden suunnittelussa ja ne eivät esimerkiksi saa aiheuttaa liittyvien rakenteiden vaurioitumista.

### 2.2 Paikallavalu- ja elementtibetoni

Tunnelin paikallavalu- ja elementtibetonirakenteiden materiaaliominaisuudet määritellään sillansuunnitteluohjeistuksen (NCCI 2) mukaisesti.

Paikallavalu- ja elementtirakenteiden laatuvaatimukset jaetaan ympäristöolosuhteiden mukaisesti eri luokkiin sillansuunnitteluohjeistuksen tapaan. Tunnelin osat luokitellaan samoilla rakenneosatunnuksilla kuin siltarakenteet betonirakenteiden P-lukumenettelyn soveltamisen helpottamiseksi. Rakenneosatunnuksat valitaan hankekohtaisesti rakennetta parhaiten kuvaavilla termeillä ohjetta NCCI 2 noudattaen.

Sillanrakennusohjeista poiketen suolasumurasitus kohdistuu myös tien yläpuolisille rakenteille, vaikka ne olisivat kuutta metriä ylempänä tien pinnasta. Suolasumurasituksen vaikutus ei pitkällä tunneleilla ulotu koko tunnelin matkalle. Ulottuma määritellään hankekohtaisesti ja hyväksytetään Liikennevirastolla.

Vähimmäisvaatimukset tunneliaukon ulkopuolisille rakenteille, kuten yhdyskäytävien ja teknisten tilojen sisään tulevien rakenteiden ja valvomorakennusten betoni-rakenteille, voidaan määritellä hankekohtaisesti rasiustason perusteella ympäristöministeriön ja esimerkiksi Betoniyhdistyksen ohjeiden mukaisesti. On otettava huomioon, että Liikenneviraston ohjeistuksessa ja suunnitelmissa esitetään nimellisen betonipeitteen arvot ( $c_{nom}$ ), kun taas muu ohjeistus (esim. BY50-2012, BY 65-2016 tai RIL202-2011/BY61) koskee yleensä minimipeitettä ( $c_{min}$ ). Sekaannusten välttämiseksi suunnitelmiin kirjataan nimellinen betonipeite. Jäädytys-sulatusrasitukselle alttiit rakenteet tulee valmistaa P-lukumenettelyä noudattaen.

Hankekohtaisesti voidaan sopia lievemmistä vaatimuksista, jos tunnelin pakkasmäärä on määritetty virtausanalyysien tai muun luotettavan selvityksen perusteella. Käytännössä tämä edellyttää lähes vastaavan tunnelin pakkaskauden aikaiseen kattavaan lämmönmittaukseen perustuvaa analyysia. Analyysien pakkasmääriin on arvioitava varmuus hankekohtaisesti.

Kallioperän ja vuotovesien sisältämien haitta-aineiden aggressiivisuus on syytä tutkia kalliorakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan ja huomioida rakenteiden säilyvyysmitoituksessa.

Käyttötilan halkeamaleveyden enimmäissuuruus valitaan Liikenneviraston betoni-rakenteiden soveltamisohjeen (NCCI 2, taulukko 7.1). perusteella ja rakenneosan rasiusluokka tämän ohjeen mukaan. Taulukoihin 1–3 on koottu tunneleiden betoni-rakenteiden vähimmäisvaatimuksia säilyvyyden kannalta. Taulukkojen rakenneosa-luettelointia on havainnollistettu liitteessä 1 esitettyjen esimerkkirakenteiden kuvien avulla.

**Rasitusluokkaryhmä R1:** Betonirakenteet tunneleissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) ja jotka sijaitsevat alle 6 m päässä kyseisen tien reunasta.

**Rasitusluokkaryhmä R2:** Betonirakenteet tunneleissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) ja jotka sijaitsevat alle 6 m päässä kyseisen tien reunasta.

**Rasitusluokkaryhmä R3:** Rakenteet meren rannalla.

**Rasitusluokkaryhmä R4:** Rakenne ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.

Voimakkaasti kloridirasitettujen betonipintojen suunnittelukäyttöään saavuttamiseksi tulee ottaa huomioon NCCI 2 kappaleen 4.3 lisävaatimukset pintakäsittelystä.

Taulukko 1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: Kantavat alus- ja seinärakenteet

Tunnelin rakenneos	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka 4)	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 4) (vähimmäisarvo)	Raudoitustyyppi 1)		
Betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden rakenteiden peruslaatat	Ro06	R1	XC2, XD1, XF4	C30/37	P50	50/100 (35) (5)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF4	C30/37	P30	50/100 (35) (5)	tr	100	
		R4	XC2, XF2	C25/30	P20	50/100 (25) (5)	tr	100	
Betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden seinät yleensä 2)	Ro10	R1	XC3, XC4, XF2	C30/37	P30	45	tr	100	
						55	jr		
		R2	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
		R4	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
Suolasumurasitetut betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden seinät 2)	Ro11	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	C35/45	P50	45	tr	100	(3)
						55	jr		
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	(3)
						50	jr		
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	
						50	jr		

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret [13] mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.
- 4) Betonipeitteen nimellisarvo vedenalaisessa valussa on 150 mm. Vaadittaessa huuhtoutumisen estävän lisäaineen käyttöä betonin suhteutuksessa, voidaan teräsputken sisävalussa käyttää 50 mm:ä betonipeitteen nimellisarvona. Betonin lujuusluokaksi valitaan vedenalaisessa valussa 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.
- 5) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Todellisena betonipeitteenä halkeamalaskennassa ei käytetä suurempaa arvoa kuin 50 mm.



Taulukko 2. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: Kantavat holvirakenteet

Tunnelin rakenneosa	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Holvin vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro20	R1	XC3, XC4, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	
						50	jr		
		R2	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
	R4	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100		
					50	jr			
	Holvin suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro21	R1	XC3, XC4, XF2, XD1	C30/37	P30	45	tr	100
55							jr		
R2			XC3, XC4, XF2, XD1	C30/37	P20	40	tr	100	(3)
R3		XC3, XC4, XS1, XD1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	(3)	
					50	jr			
Suuaukkojen reunapalkit ja kaulusrakenteet		Ro22	R1	XC4, XD3, XF4	C35/45	P50	45	tr	50
	55						jr		
	R2		XC4, XD2, XF4	C35/45	P50	40	tr	50	(4)
						50	jr		
	R3	XC4, XS1, XD3, XF2	C35/45	P30	45	tr	50	(4)	
					55	jr			
R4	XC4, XF2	C30/37	P30	40	tr	70			
				50	jr				

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Päällysrakenteella palkkien ja kansilaatan liikenteen tulosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päällysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.

Taulukko 3. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: tunnelin sekundäärirakenteet

Tunnelin rakenneosia	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Verhousrakenteen takapinta ja muut sekundääriset ei-suolasumurasitetut rakenteet	Ro40	R4	XC3, XC4, XF2	C30/37	P25	35 (4)	tr	50	
						45 (4)	jr		
Verhousrakenteen etupinta ja muut suolasumurasitetut sekundäärirakenteet (holvissa ja seinissä) (2)	Ro41	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	C35/45	P40	50 (4)	tr	50	
						60 (4)	jr		
	R2	XC3, XC4, XD2, XF2	C30/37	P25	45 (4)	tr	50		
					55 (4)	jr			
	R3	XC3, XC4, XS1, XF2	C30/37	P25	40 (4)	tr	50		
					50 (4)	jr			
Seinän alaosan suolasumurasitetut pinnat (2)	Ro42	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	C35/45	P50	50 (4)	tr	50	
						60 (4)	jr		
	R2	XC3, XC4, XD2, XF2	C35/45	P50	45 (4)	tr	50		
					55 (4)	jr			
	R3	XC3, XC4, XS1, XF2	C35/45	P30	45 (4)	tr	50		
					55 (4)	jr			
	R4	XC4, XF2	C30/37	P30	45 (4)	tr	50		
					55 (4)	jr			
Perustus ilman suolasumurasitusta	Ro50	R4	XC2	C25/30	-	30/80 (20) (3)	tr	50	
Perustus suolasumurasituksen ulottuma-alueella (2)	Ro51	R1	XC2, XD1, XF4	C30/37	P40	40/90 (30) (3)	tr	50	
		R2	XC2, XD1, XF2	C30/37	P25	40/90 (30) (3)	tr	50	

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Päälysrakenteella palkkien ja kansilaatan liikenteen tulosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Muottia vastaan paikalla valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Mikäli maata vasten käytetään muovia tai suodatinkangasta, voidaan käyttää muottia vasten olevaa nimellisarvoa ja vähimmäisarvoa kasvattamalla niitä 10 mm. Tällöin valualustan tasaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota.
- 4) Nimellisarvovaatimusta voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonipeitteen sallittu mitta-poikkeaman arvo, joka on tällöin myös esitettävä suunnitelmassa, on 5 mm.

## 2.3 Ruiskubetoni

Ruiskubetoni eroaa paikallavalu- ja elementtibetoneista lähinnä betonointityön ja käytettyjen lisäaineiden osalta. Ruiskubetonia käytetään tietunneleissa osana maa- ja kalliorakenteiden lujitusta (lujitusruiskubetoni, ks. kappale 5.3), kantavana rakenteena sekä vahvistus- ja korjaustöissä. Ruiskubetonia käytetään yleisesti myös verhouksrakenteissa sekä muissa ympäristörasituksille ja tulipalolle alttiissa rakenteissa suojakuorena.

Ruiskubetonirakenteelle noudatetaan samoja vaatimuksia ja rakennusosatunnuksia kuin vastaavissa olosuhteissa sijaitsevalle paikallavalu- tai elementtibetonirakenteille. Ruiskubetonirakenteiden osatunnukset, rasitusluokat ja -luokkaryhmät, materiaali-vaatimukset sekä betonipeitevaatimukset on esitetty kappaleen 2.2 taulukoissa 1-3. Betonipeitevaatimusta ei sovelleta polymeerikuitubetonille. Ruiskubetonissa käytettävä sementin vähimmäismäärä on aina 300 kg/m<sup>3</sup>. Ruiskubetonin vaadittu energianabsorptioluokka on E1000 standardin SFS-EN 14487-1 mukaisesti.

Tietoa ruiskubetonista, ruiskubetonin käytöstä ja ruiskubetonoinnista löytyy Betoniyhdistyksen ohjeesta By 63 (2015), sekä InfraRYListä (osa 3) ja SILKO-ohjeista (1.232 ja 2.234). Ruiskubetonia koskevat määritelmät, vaatimukset ja vaatimuksenmukaisuus on esitelty tarkemmin standardissa SFS-EN 14487-1. Ruiskubetonin toteutusta käsitellään standardissa SFS-EN 14487-2.

## 2.4 Betoniteräksset, jänneteräksset, kuidut

Taitorakenteissa käytettävien betoniterästen sekä jänneterästen materiaaliominaisuudet ja laatuvaatimukset on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI 2.

Betonin ominaisuuksien parantamiseen käytetään yleisesti betoni- ja jänneterästen lisäksi kuituja. Rakenteelliset teräs- ja polymeerikuidut parantavat betonin taivutus-, leikkaus- ja vetolujuutta. Lisäksi palolle alttiissa ruiskubetonirakenteessa, verhouksrakenteessa ja kantavassa betonirakenteessa käytetään yleisesti polymeereistä valmistettuja erityisiä mikrokuituja (esim. PP-kuidut) vähentämään räjähdysmäistä lohkeilua (explosive spalling) palotilanteessa. Kuituja valmistetaan myös muista materiaaleista ja niillä on muitakin käyttösovelluksia kuin tässä ohjeessa on lueteltu.

Ruiskubetonin raudoituksena voidaan käyttää betoniterästankoja, betoniteräsverkkoja tai kuituja. Raudoitteen ja teräskuituvahvistetun ruiskubetonin betonipeitteen on täytettävä vastaavan paikallavalu- tai elementtibetonirakenteen vaatimukset. Teräskuituja käytettäessä ruiskubetonin betonipeite toteutetaan kuiduttomalla tai polymeerikuituja (mikrokuitu) sisältävällä kerroksella, jotta rakenteen pinnassa ei ole teräviä teräskuitujen päitä.

Teräskuitujen määrittely, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus on kuvattu standardissa SFS-EN 14889-1 ja vastaavat määritteet polymeerikuiduille standardissa SFS-EN 14889-2 (luokka 1 mikrokuidut, luokka 2 makrokuidut).

Suunnitelmissa määriteltävä kuitujen annostelu tarkoittaa kuitujen määrää valmiissa rakenteessa. Rakentamisen aikana kuitujen annostelussa on huomioitava valmiin rakenteen kuitumäärää vähentävät tekijät, kuten esimerkiksi hukkaroiskeen vaikutukset ruiskutustyössä. Suunniteltu kuitumäärä hyväksytetään Liikennevirastossa. Polymeerikuitujen kuitumäärän määrittäminen on esitetty liitteessä 5.

## 2.5 Teräsrakenteet, kiinnikkeet

Tunnelirakentamisessa käytettävien rakenneterästen ja kiinnikkeiden materiaalit valitaan Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI T perusteella. Suunnitteluotaksumat määritellään Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI 4 mukaisesti. Lisäksi noudatetaan valmistajan ETA/CE-hyväksynnän mukaisia suunnitteluohjeita.

Kiinnikkeiden materiaali tulee valita ottaen huomioon korroosio-olosuhteet sekä kiinnitettävän rakenteen käyttötarkoitus, riskitaso ja käyttöikävaatimus. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon palotilanne (ks. kappale O).

Teräsrakenteet pintakäsitellään Liikenneviraston hyväksymiä ympäristöluokkien mukaisia pintakäsittelyjärjestelmiä käyttäen ohjeiden NCCI T ja SILKO 3.351 mukaisesti. Ympäristörasitus ja sen mukainen maalausjärjestelmä tulee valita hankekohtaisesti ja hyväksyttävä Liikennevirastolla. Maalausjärjestelmän valinnassa voidaan käyttää standardia SFS-EN ISO 12944-5. Teräsrakenteiden kuumasinkityksessä noudatetaan Liikenneviraston ohjeen NCCI T taulukon 4 ohjearvoja.

Tunneliaukossa olevat rakenteet pintakäsitellään rasisitusluokan C5-M(H) ja muut rakenteet C4(H) mukaisesti. Voimakkaalle pakokaasurasitukselle altistuvat tekniset tilat mitoitetaan luokan C5-I(H) mukaisesti. Muiden teknisten tilojen rakenteiden pintakäsittelyn rasisitusluokat päätetään tapauskohtaisesti ja hyväksytetään Liikennevirastossa. Kallion ja verhousrakenteen välisessä tilassa olevilta ankkureilta vaaditaan heikon tarkastettavuuden vuoksi aina vähintään C5-M(H) mukaista pintakäsittelyjärjestelmää.

Teräsrakenteiden (laastijuotettavien ja kemiallisten) ankkureiden pinnoitus/minimi-vaatimus (esimerkiksi tunnelin verhousruiskubetonin ja raskaiden varusteiden ankkuroinnit):

- Tunneliaukossa
  - kuumasinkitys: paksuusvaatimus NCCI T Taulukko 4
  - kierretavarat lisäksi SFS-EN ISO 10684
- Verhousrakenteen ja kallion välissä
  - epoksinpinnoitus (vähimmäispaksuus 15 µm) ja kuumasinkitys (NCCI T Taulukko 4).

Mekaanisesti kiinnitettävien (lyönti-, ruuvi- yms) pieniläpimittaisten kiinnikkeiden (<M12) materiaali vaatimus (esimerkiksi palosuojalevyjen kiinnittimet)

- haponkestävä teräs - laadut: A4 / 1.4401 / 1.4404 / 1.4435 tai
- hcr teräs (high corrosion resistant) - laadut 1.4529 / 1.4565.

Teräskokoonpanojen kiinnikkeet valitaan rakenteen käyttöikämitoituksen perusteella kuumasinkitystä, ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä NCCI T kappaleen 3.4.5 mukaisesti.

Kiinnittimen (pienempi rakenneosa) materiaalin tulee olla vähintään yhtä jalo kuin kiinnitettävä materiaali. Epäjalompi metalli tulee eristää jalommasta metallista esim. kumisin aluslevyin niin, että metallista kontaktia näiden välille ei pääse syntymään.

Suolasumumurasituksen ulottuma-alueen ulkopuolella ja suolaamattomilla teillä voidaan käyttää myös säänkestävästä eli ilmastorasitusta kestävästä (patinoituvasta) SFS-EN 10025-5 mukaisesta teräksestä valmistettuja rakenteita ottaen huomioon NCCI T:ssä esitetyt vaatimukset (erityisesti rakokorroosion osalta).

## 2.6 Lujituspultit ja kallioankkuroinnit

Kallion lujituspultituksen tarkoitus on sitoa kalliomassa yhtenäiseksi estämällä yksittäisten kalliolohkojen liikkuminen ja irtoaminen kalliomassasta. Lujituspultit voidaan jakaa toimintatapansa mukaisesti kolmeen ryhmään: juotetut pultit (passiivipultti), kärkiankkuroidut pultit (aktiivipultti) sekä kitkapultit (aktiivipultti). Lisäksi käytössä on ns. yhdistelmäpultteja, joissa pultit kärkiankkurin avulla ensin esijännitetään ja juotetaan lopuksi.

Rakenteiden ankkuroimisessa kallioon käytetään vain juotettuja tai kärkiankkuroituja pultteja. Kallioankkureille on käytettävä vähintään kohdan 2.5 mukaista korroosiosuojausta (esimerkiksi epoksinnoitus ja kuumasinkitys) kertoimella 1,5 suurenettuna. Juotoslaastin rasitusluokissa otetaan huomioon kalliopohjaveden ja mahdollisen pakkasrasituksen vaikutus, esimerkiksi suuaukko- ja kuilurakenteissa. Pultin korroosiosuojauksen määrittelyssä otetaan huomioon rakenteen käyttöikä sekä siihen kohdistuvat ympäristörasitukset (myös kalliopohjavesi on otettava huomioon). Rakenteiden perustusten ankkuroinnissa on lisäksi otettava huomioon ohjeiden Sillan geotekninen suunnittelu ja NCCI 7 vaatimukset.

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n ohjeessa RIL 266-2014 ” Kalliopultitus-ohje” on kerrottu tarkemmin kallioon asennettavista pulteista. Käytettävät lujituspultit ja kallioankkuroinnit hyväksytetään Liikennevirastolla.

## 2.7 Varusteet ja laitteet

Tietunnelin varusteiden ja laitteiden materiaaliominaisuuksien ja säilyvyyden on oltava varusteita ja laitteita koskevien ohjeiden mukaiset.

## 2.8 Materiaalien osavarmuusluvut

Rakenteellisen mitoituksen suunnitteluotaksumat ja muun muassa materiaalien osavarmuusluvut valitaan Liikenneviraston materiaalikohtaisten eurokoodin soveltamisohjeiden mukaisesti.

## 2.9 Käyttöikävaatimukset

Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteena on 100 vuoden käyttöikä.

Sekundääristen rakenteiden suunnitteluperusteena on 50 vuoden käyttöikä.

Varusteiden ja laitteiden kiinnittämiseen tarvittavien osien suunnitteluperusteena on 50 vuoden käyttöikä.

Varusteet ja laitteet: Ovien suunnitteluperusteena on lähtökohtaisesti 30 vuoden käyttöikä. Muiden varusteiden ja laitteiden käyttöikä annetaan varusteita ja laitteita koskevissa ohjeissa.

Rakenteet detaljeineen tulee suunnitella kestävämmän kunnossapito- ja huoltotoimet. Esimerkiksi tunnelin verhouksen materiaali- ja pintakäsittelyvalinnoissa on otettava huomioon tunnelin säännöllinen korkeapainepesu.

## 3 Kuormat ja mitoitusperusteet

### 3.1 Yleistä

Rakenteiden pysyvinä ja muuttuvina kuormina käytetään Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI1 mukaisia kuormia. Betonirakenteen kutistuman määrittely ja pakko-voimien käsittely on esitetty soveltamisohjeessa NCCI 2.

NCCI1:n kuormia täydennetään seuraavilla jäljempänä tarkennettavilla kuormilla:

- Liikenteen aiheuttamat painekuormat
- Lumi- ja jäätyriskuormat
- Lämpötilakuormat
- Lohkareiden putoamiskuorma
- Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat
- Törmäyskuormat
- Räjähdysspainekuormat
- Työnaikaiset kuormat
- Muut lisäkuormat.

Kohdissa 3.3 ... 3.10 annetut kuormien lukuarvot ovat kuormien ominaisarvoja.

### 3.2 Osavarmuusluvut ja kuormitusyhdistelyt

Kuormien osavarmuuskertoimet rakenteiden mitoituksessa ja kuormitusyhdistelyissä ovat NCCI 1 mukaiset seuraavin täydennyksin:

- Liikenteen aiheuttamat ilmanpainekuormat käsitellään samoilla yhdistelykertoimilla kuin ratasilloille määritellyt ”AE Aerodynaamiset vaikutukset”  
 $\psi_0=0,8$                        $\psi_1=0,5$                        $\psi_2=0,0$
- Ilmanpainekuorma on väsyttävä kuorma ominaisarvollaan
- Kaikille tässä mainituille NCCI 1:tä täydentäville kuormille käytetään murto-tilan osavarmuuskertoimena arvoa 1,5
- Törmäys-, räjähdys- ja putoamiskuormat ovat onnettomuuskuormia
- Lumi- ja jäätyriskuorman yhdistelykertoimet  
 $\psi_0=0,7$                        $\psi_1=0,5$                        $\psi_2=0,2$
- Verhousrakenteen jäätyriskuormalla ei ole pitkäaikaisosuutta  
 $\psi_0=0,6$                        $\psi_1=0,5$                        $\psi_2=0,0$

Liitteessä 2 on esitetty yksinkertaistetut kuormitusyhdistelytaulukot verhousrakenteen kiinnityksille.

### 3.3 Liikenteen aiheuttamat painekuormat

Tunneliaukkoon rajoittuvat rakenteet, varusteet ja laitteet mitoitetaan liikenteen aiheuttamille painekuormille seuraavasti:

- Painekuorma (ylipaine) on 0,8 kPa rakenteille, joiden molemmilla puolilla ilmanpaine voi vaihdella.
- Painekuorma (ylipaine) on 0,5 kPa rakenteille, joiden toisella puolella on suljettu ilmatila ja ilmanpaine voi vaihdella vain toisella (paineiskun kuormittamalla) puolella.
- Negatiivinen painekuorma (alipaine, imukuorma) on -0,8 kPa kaikille rakenteille.
- Kaikki tunneliaukon sisäpinnoilta ulkonevat rakenteet, varusteet ja laitteet mitoitetaan sekä positiiviselle (ylipaine) että negatiiviselle (alipaine, imu) painekuormalle  $\pm 1,0$  kPa.

Painekuorma on muuttuva, liikkuva ja väsyttävä kuorma, jonka otaksutaan vaikuttavan 50 metrin matkalla koko tunneliaukossa tai vain tunneliaukon toisella puolella siten, että syntyy vaarallisin kuormitusyhdistelmä. Kuormitusyhdistelyssä painekuorma vaikuttaa samanaikaisesti vain yhteen suuntaan.

### 3.4 Lumi- ja jäätymiskuormat

Lumi- ja jäätymiskuormat ovat muuttuvia ja liikkuvia kuormia, jotka vaikuttavat painovoiman suuntaisesti.

Verhousrakenteet mitoitetaan pakkasmäärälle F50. Verhousrakennetta ei mitoiteta varsinaiselle jään painekuormalle. Tihkuvan veden jäätymiseen ja jään kertymiseen verhousrakenteen ja kallion välisessä ontelossa varaudutaan jäätymiskuormalle 3,0 kN/m<sup>2</sup>. Kuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, jos lämmöneristeet mitoitetaan pakkasmäärälle F100.

Tietunnelin suuaukkorakenteet mitoitetaan pystysuoralle lumikuormalle. Mikäli suuaukon yläpuolella on kinostumista aiheuttava este tai ulkonema, otetaan kinostuminen huomioon rakenteiden mitoituksessa. Mitoitus lumikuormille tehdään ohjeen RIL 201-1 mukaisesti käyttäen ohjeessa esitettyjä paikkakuntakohtaisia lumikuorman ominaisarvoja ja tässä ohjeessa kappaleessa 3.2 esitettyjä yhdistelykertoimia. Suuaukkorakenteet mitoitetaan samanaikaiselle jäätymiskuormalle 5 kN/m<sup>2</sup>.

### 3.5 Lämpötilakuormat

Tunneliputket, kuilut ja niihin verrattavat ulkoilmaan rajoittuvat osin lämpötilan vaihtelulle alttiina olevat rakenneosat mitoitetaan seuraaville lämpötilamuutos- ja lämpötilaerokuormille:

- Rakenteen maksimilämpötila on + 20 °C ja minimilämpötila on -30 °C. (Linjan Oulu–Kuopio–Lappeenranta länsipuolella -25 °C) Asennuslämpötilaksi otaksutaan +10 °C. Myös todellista asennuslämpötilaa voidaan käyttää, jos se on luotettavasti tiedossa.



- Maa- tai ilmatilaan rajoittuvien (maalla tai lämmöneristeellä) eristettyjen verhouk-, seinä- ja holvirakenteiden pintalämpötilaerona voidaan käyttää yleensä  $\pm 5$  °C.

Tietunnelin suuaukkorakenteet mitoitetaan sillansuunnitteluohjeiden mukaisille lämpötilamuutos- ja lämpötilaerokuormille. Lämmöneristetty tai yli 750 mm paksuisen maakerroksen peittämä rakenne käsitellään lämpötilan vaihtelulta suojattuna.

Tietunnelin sisätiloihin tai lämmitettyihin tiloihin rajoittuvien rakenteiden lineaarinen pintalämpötilaero arvioidaan tapauskohtaisesti.

Lämpötilakuormat yhdistellään lämpötilakuormaryhmäksi NCCI 1:n kappaleessa D esitetyllä tavalla.

## 3.6 Lohkareiden putoamiskuorma

Tunnelin suuaukon ulkopuoliset kalliopinnat lujitetaan aina siten, että irtolohkareiden putoamisvaaraa ei ole. Tällöin suuaukkorakenteita ei mitoiteta putoamiskuormille.

Poikkeuksellisessa tapauksessa kalliorakennesuunnittelija arvioi putoavaa lohkareta vastaavan staattisen mitoituskormin ja hyväksyy sen Liikennevirastolla. Lähtökohtaisesti lohkareen kuormana käytetään 50 kN, joka vaikuttaa mielivaltaiseen kohtaan sijoitetun  $\varnothing$  0,2 m ympyrän alueeseen.

Tunnelin sisäpuoliset kalliopinnat lujitetaan aina siten, että irtolohkareiden putoamisvaaraa kalliotunnelin verhouksrakenteelle ei ole. Poikkeuksellisessa tapauksessa kalliorakennesuunnittelija arvioi putoavaa lohkareta vastaavan staattisen mitoituskormin ja hyväksyy sen Liikennevirastolla. Lähtökohtaisesti lohkareen kuorma arvioidaan tapauskohtaisesti lujituspuoltien keskinäisen etäisyyden perusteella.

Lohkareen putoaminen katsotaan onnettomuustilanteeksi.

## 3.7 Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat

Kiinnitysosien kuormat määritellään tapauskohtaisesti ottaen huomioon varusteiden painon lisäksi aiemmin (kappaleessa 3.3) esitetyt painekuormat. Lisäksi on otettava huomioon varusteiden ja laitteiden käytöstä aiheutuvat dynaamiset kuormat.

Varustekohtaisten kuormien ohella otetaan huomioon seuraavat ohjeet:

- Yhtenäiset asennukset kuten kaapelihyllyt tai valaisinkiskot mitoitetaan vähintään hyötykuormalle 1,0 kN/m.
- Yksittäinen kiinnitysosa mitoitetaan vähintään 5 kN hyötykuormalle.
- Yli 5 kN painoisten rakenteiden kiinnitys yhdellä kiinnitysosalla ei ole sallittua.

Varusteiden kiinnitys mitoitetaan niin, että yhden kiinnityksen vaurioituminen tai pettäminen ei aiheuta jatkuvaa asennusten sortumista. Kiinnityksen vaurioituminen katsotaan onnettomuustilanteeksi.

## 3.8 Törmäyskuormat

Tunneli mitoitetaan törmäyskuormille eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 ja Liikenneviraston NCCI 1:n periaatteita noudattaen. Tunneliaukossa olevia kantavia rakenteita ei mitoiteta törmäyskuormalle, jos rakenteeseen törmäminen on estetty tai rakenne sijaitsee NCCI 1 kappaleessa F määritetyn alarajakorkeuden yläpuolella.

Tietunnelin seinän alaosa mitoitetaan alla olevan taulukon mukaisille törmäyskuormille. Rakenteen kiinnityksen tulee kestää vastaavat kuormat.

Taulukko 4. Tietunnelin seinän alaosan törmäyskuormat

Liikenteen luokka	Kuorma $F_{dx}$ [kN]	Kuorma $F_{dy}$ [kN]
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet, joilla suurin sallittu ajonopeus $v > 50$ km/h	360	240

$x$ = liikenteen suunta,  $y$ = liikennettä vastaan kohtisuora suunta

Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI 1 mukaisesti:

- $F_{dx}$  ja  $F_{dy}$  eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaikaisesti.
- Törmäyskuorma jaetaan korkeussuunnassa alueelle 0,5–1,0 m ajoradan/luiskan pinnasta mitattuna ja leveydelle 1,50 m tai rakenneosan leveydelle sen mukaan, kumpi on pienempi.

Seinän alaosa saa liikkua törmäyksen voimasta enintään 0,2 m sivusuunnassa, elleivät seinän takana mahdollisesti olevat järjestelmät edellytä pienempää sallittua siirtymää. Sallitun siirtymän suunnittelee rakennesuunnittelija yhdessä muiden tekniikka-alojen suunnittelijoiden kanssa. Seinän alaosan rakenteellisessa mitoituksessa sallittu siirtymä hyväksytetään Liikennevirastossa ja merkitään tietunnelin rakennussuunnitelmiin.

Tunneliaukossa sijaitsevat sekundääriset rakenteet mitoitetaan staattisesti vaikuttavalle pistekuormalle 20 kN, jonka vaikutuspinta on mielivaltaisesti sijoitettu ympyrä  $\varnothing$  0,1 m. Kuorman arvo on 50 kN sellaiselle seinälle tai pilarille, joka erottaa tunneliaukon muusta tilasta.

Korkeudenrajoitinportaalit mitoitetaan rakenteen yläosaan vaikuttavalle staattiselle vaakasuoralle kuormalle 200 kN, jonka vaakasuora jakautumisleveys on 2,0 m ja jakautumiskorkeus 0,1 m.

Törmäysriskiä kantaviin rakenteisiin tulee aina pyrkiä vähentämään rakenteellisin ratkaisuin. Korkeudenrajoitinportaalit on tästä hyvä esimerkki.

## 3.9 Räjähdyspainekuormat

Tunnelin kantavat rakenteet mitoitetaan tunneliputkessa tapahtuvalle räjähdyskuormalle tämän ohjeen liitteen 3 taulukon luokittelua noudattaen (sama luokittelu on esitetty kappaleissa 3.9.1 ja 3.9.2). Hankekohtaisen tulkinnan räjähdyspaineen tyypistä ja huomioimisesta tunnelin rakenteiden mitoituksessa tekee tietunnelin hallintoviranomainen.

### 3.9.1 Räjähdyspainekuormien käyttö

Lähtökohtaisesti betonitunnelin kantavat rakenteet mitoitetaan deflagraatiolle. Mikäli päällerakentamattomalle vain kohtalaisesti liikennöidylle betonitunnelille on hyväksyttävä kiertotie tai tämän betonitunnelin liikennemäärä (KVL) on alle 6 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, voidaan vaatimuksesta poiketa. Katastrofaalisin seurauksin vaurioituvan päällerakentamisen yhteydessä betonitunnelin rakenteet mitoitetaan aina deflagraatiolle.

Kalliotunnelin kantavia rakenteita ei lähtökohtaisesti mitoiteta deflagraatiolle. Päälle rakennettavan kalliotunnelin kestävyys deflagraatiolle tulee kuitenkin osoittaa ohuen kalliokaton alueilla (kalliokaton paksuus alle 5 metriä) tai silloin, kun kalliokaton paksuuden suhde tunneliaukon kokoon on pieni. Kestävyys osoitetaan kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla tai deflagraatiomitoituksella.

Lähtökohtaisesti tunneleita ei mitoiteta detonaatiolle.

### 3.9.2 Räjähdyspainekuormat

Tunnelien räjähdyspainemitoituksen paineiden ja niiden kestoajojen ohjeelliset mitoitusarvot ovat esitetty alla olevassa taulukossa 5.

Taulukko 5. Deflagraation ja detonaation painekuormat ja kestoajat

	Paine [kPa]	Kesto aika [ms]
<b>Deflagraatio</b>	+100	50
<b>Detonaatio</b>	±5000	5

Taulukossa 5 esitetyt painekuormat ovat dynaamisia. Dynaamisen mitoituksen sijaan rakenteet voidaan mitoittaa käyttämällä staattista korvauskuormaa. Tällöin dynaaminen mitoituskuorma muunnetaan staattiseksi korvauskuormaksi kertomalla paineen arvo dynaamisella kuormakertoimella  $\varphi$ . Teoreettinen yhteys tunnelin ominaistajuuden ja dynaamisen kuormakertoimen välillä on esitetty liitteessä 4. Ilman kertoimen laskennallista määrittystä käytetään dynaamisen kuormakertoimen arvoa 2,0. Positiivinen paine kuvaa räjähdyspisteestä ulospäin suuntautuvan räjähdyskuorman vaihetta ja negatiivinen paine päinvastaisen suuntaista räjähdyskuorman jälkeä vaikuttavaa imupainetta.

Suunnittelija voi vähentää räjähdyspainekuormien arvoa lineaarisesti 10 m etäisyydellä tunnelin suuaukoista, avoimista kuiluista tai muista suurikokoisista rakenteellista avoimista aukoista siten, että aukon kohdalla räjähdyspaineen arvo pienenee nolnaan. Räjähdyspainekuormien pienentäminen on mahdollista myös aukollisen rakenteen takana olevalle rakenteelle. Aukollinen rakenne voi olla esimerkiksi tunneliputkien välisen keskiseinän korvaava rivi pilareita, joiden väleistä räjähdyspaine pääsee leviämään. Aukollisen rakenteen räjähdyspainekuormien vähennykset hyväksytetään Liikennevirastolla.

Deflagraatiossa varsinaisen imukuorman sijaan tulee ottaa huomioon dynaamisen kuorman jälkeinen vastaimpulssikuorma. Kuorman suuruus tulee arvioida tapauskohtaisesti ottaen huomioon muun muassa tunnelin ja sen mahdollisten täyttökerrosten rakenne. Vastaimpulssikuorman maksimiarvona voidaan käyttää deflagraation painekuorman arvoa. Siitä poikkeavat tapauskohtaisesti arvioidut vastaimpulssikuorman arvot hyväksytetään Liikennevirastossa.

Deflagraatiossa räjähdyspaineen oletetaan vaikuttavan tunneliputken kaikkiin sisäpintoihin samanaikaisesti. Detonaation huippupaineen oletetaan vaikuttavan 10 metrin etäisyydellä räjähdyspisteestä samanaikaisesti kaikissa tunnelinputken sisäpinnoissa. Positiivinen ja negatiivinen vaihe tarkastellaan erillisinä tapahtumina.

### 3.10 Muut lisäkuormat

Suuaukkorakenteiden ja muiden maan- tai vedenpaineen kuormittamien rakenteiden mitoituksessa otetaan huomioon mahdollinen ylitäyttö sekä vedenpinnan alin ja ylin mahdollinen korkeusasema. Maanpaineen lisääntyminen rakenneosan siirtymisestä maata vastaan tulee ottaa huomioon.

Maanpinnalla vaikuttaa muuttuva liikkuva hyötykuorma vähintään 4 kN/m<sup>2</sup>, ellei muu hyötykuorma ole tätä suurempi. Tämän pintakuorman vaikutus maanpaineeseen tulee ottaa huomioon.

### 3.11 Työnaikaiset kuormat

Tunnelin rakenteet mitoitetaan työnaikaisille kuormille, joita aiheuttavat mm. noste, toispuoliset maanpaineet, lopputilannetta pienemmät alapohjan täytöt, korjaustöiden aiheuttamat kaivannot putkilinjojen kohdalla, työnaikainen liikenne, materiaalien välivarastointi ja asennuksen edellyttämät nostot rakenteen pohjalta ja päältä.

## 4 Rakennetekninen mitoitus

### 4.1 Yleistä

Tunnelirakenteista laaditaan rakennelaskelmat voimassaolevan taitorakenteiden/siltojen rakennelaskelmaohjeen mukaisesti (LO 12/2012).

### 4.2 Rakenneanalyysit

Käytetyt rakenneanalyysit ja rakennemallit kuvataan rakennelaskelmissa. Analyysimenetelmien tulee olla ohjeiden tai yleisesti hyväksytyjen periaatteiden mukaisia.

### 4.3 Murtorajatilat

Laskelmat laaditaan Liikenneviraston voimassaolevien materiaali-kohtaisten eurokoodien soveltamisohjeiden mukaisesti.

### 4.4 Käyttörajatilat

Mitoitus käyttörajatilassa tarkastetaan Liikenneviraston voimassaolevien materiaali-kohtaisten eurokoodien soveltamisohjeiden mukaisesti.

### 4.5 Väsytystarkastelut

Tunnelin kantaville rakenteille tehdään tarvittaessa väsytysmitoitus NCCI 1:n mukaisesti.

Tunnelin verhoursrakenteelle ja varusteille, sekä niiden kiinnikkeille aiheutuu liikenteen ilmanpaineesta merkittäviä väsyttäviä rasituksia. Mitoitus väsymisen suhteen tehdään eurokoodin SFS-EN 1993-1-9 periaatteita noudattaen tässä esitettyjen tarkennusten mukaisesti.

Jännitysjaksojen lukumäärä väsytysmitoitusta varten on selvitettävä hankekohtaisesti ottaen huomioon rakenteen ominaisuudet, liikennemäärä ja liikenteen koostumus sekä rakenteen käyttöikä. Yleensä ilmanpainekuorman toistuvuus rakenteen käyttöiän aikana on niin suuri, että väsymismitoituksessa päädytään lähelle alemmaa väsymisrajaa.

Yksinkertaistetusti rakenteen (yleensä teräksisen kiinnikkeen) käyttöikää väsytystarkastelussa voidaan pitää rajattomana, mikäli ilmanpainekuormasta aiheutuva käyttötilan rasitus on aksiaalirasitusta, ja sen aiheuttama jännitysvaihteluväli on suuruudeltaan pienempi kuin pultin alempi väsymisraja eurokoodin SFS-EN 1993-1-9 mukaisesti. Alempi väsymisraja jaetaan tässä tapauksessa osavarmuusluvulla 1,0. Väsyttävän kuorman osavarmuusluku on 1,0.

Ilman tarkempia selvityksiä rakenne- tai harjateräspultin vetokestävyyden väsytyksluokka on SFS-EN 1993-1-9 mukaisesti 50 MPa ja sen alempi väsymisraja 20 MPa.

Yksinkertaistettu tarkastelu:

- Lasketaan vedetylle pultille tuleva ilmanpaineinen huippu- ja minimiarvojen aiheuttama jännitysvaihteluväli.
- Rajoitetaan jännitysvaihtelu vedetyn pultin alemman väsymisrajan laskenta-arvoon.
- Lisäksi:
  - On otettava huomioon, että vedetylle kierteitetylle pultille tulee käyttää jännityksen laskennassa tehollista pinta-alaa.
  - Pienet pääasiassa epätarkkuuksista johtuvat taivutusrasitukset voidaan jättää tässä tarkastelussa huomiotta.

Väsytyksjaksojen lukumäärä ja painekuormien kehittyminen tunneliaukossa voidaan määrittää myös edellä mainittua tarkemmin. Väsymiskestävyys voidaan määrittää tällöin SFS-EN 1993-1-9 liitteen A kumulatiiviseen vauriosummaan perustuen. Tällöin kestävyuden osavarmuuslukuna käytetään arvoa 1,15.

## 4.6 Onnettomuustilanteet

Tässä kappaleessa onnettomuustilanteina käsitellään eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 tarkoittamia törmäys- ja räjähdysmitoitustilanteita, sekä mahdollista lohkaraiden putoamistilannetta. Paloteknistä mitoitusta käsitellään erikseen kappaleessa 0.

Onnettomuusmitoitustilanne on murtorajatila. Onnettomuustilanteessa materiaalien sekä kuormien osavarmuuslukuina voidaan käyttää arvoa 1,0. Rakenneanalyysissä sallitaan kuormien jakautuminen uudelleen sekä plastisuusteorian hyödyntäminen.

Törmäystilanteen mitoituksessa sovelletaan eurokoodia SFS-EN 1991-1-7 seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Verhousrakenne saa vaurioitua niin, että sen rakenteita joudutaan uusimaan.
- Seinän alaosan tai verhousrakenteen osat eivät saa irrota kiinnityksistään ja pudota suurina kappaleina tunneliaukkoon.
- Tunnelin rakenteiden jatkuva sortuma tulee estää.
- Seinän alaosan siirtymä törmäyksen voimasta ei saa vahingoittaa mahdollisesti seinän takana olevia varusteita ja laitteita.
- Tunneliaukossa olevat varusteet ja laitteet saavat osittain vaurioitua.
- Palotiiveys saa vaurioitua paikallisesti.
- Vaurioituneiden rakenneosien tulee olla uusittavissa liikenteen merkittävästi häiriintymättä.

Räjähdystilanteen mitoituksessa sovelletaan eurokoodia SFS-EN 1991-1-7 seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Tunnelin sekundääriset rakenteet sekä varusteiden ja laitteiden kiinnitysosat saavat vaurioitua.
- Varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat yhdyskäytävään tunneliputkesta johtavat ovet eivät saa sortua deflagraation voimasta, mutta niiden tiiveys saa osittain heikentyä.
- SFS-EN 1991-1-7 kohdan 5.3 (1) P mukaisesti kantavien rakenteiden jatkuva sortuma tulee estää.

- Räjähdyks saa aiheuttaa suuria muodonmuutoksia, mutta ei sortumaa.
- Yhdyskäytävän ja tunneliputken välisen seinän tiiveys saa heikentyä vain osittain.
- SFS-EN 1991-1-7 kohdan 5.3. (8) mukaisesti ylipainetta seuraa alipaine, mikä otetaan huomioon kappaleen 3.9 mukaisesti.

Onnettomuustilanteiden mitoitusvaatimukset määritellään hankekohtaisesti. Tunnelin tyypistä riippuva räjähdyspaine kuormien mitoitustarve on esitetty liitteessä 3. Taulukko 6 esittää rakenneosajaottelun, jonka perusteella onnettomuustilanteiden mitoitustarkastelut tarvittaessa tehdään, mikäli hankekohtaisissa vaatimuksissa ei ole muuta määrätty. Onnettomuustilannemitoituksessa käytettävät kuormat on esitetty kappaleessa 3 Kuormat ja mitoituserusteet.

*Taulukko 6. Rakenneosien mitoitus onnettomuuskuormille*

Rakenneosa	Törmäyskuorma	Räjähdykskuorma
Suuaukkorakenteet	Kyllä	Kyllä
Betoni- ja terästunnelien kantavat rakenteet	Kyllä	Kyllä
Tunnelin seinän alaosa	Kyllä	Kyllä
Verhousrakenne	Ei	Ei
Yhdyskäytävien ja -tunneleiden kantavat rakenteet ja ovet	Ei	Ei
Yhdyskäytävien ja -tunneleiden ei-kantavat rakenteet	Ei	Ei
Kuilujen kantavat rakenteet	Ei	Ei
Kuilujen ei-kantavat rakenteet	Ei	Ei
Teknisten tilojen kantavat rakenteet ja ovet	Ei	Ei
Teknisten tilojen sekundääriset rakenteet	Ei	Ei
Huoltotilat	Ei	Ei
Valvomorakennus	Ei	Ei
Kantava kalliorakenne	Ei	Kyllä
Kallion lujitusrakenteet	Ei	Ei
Pohja- ja maatyttörakenteet	Ei	Ei
Kaukalo rakenteet (osana tunnelin suuaukkoa)	Kyllä	Ei
Tukimuurit (osana tunnelin suuaukkoa)	Kyllä	Ei
Korkeudenrajoitinportaali	Kyllä	Ei

## 4.7 Palotekninen mitoitus

### 4.7.1 Yleistä

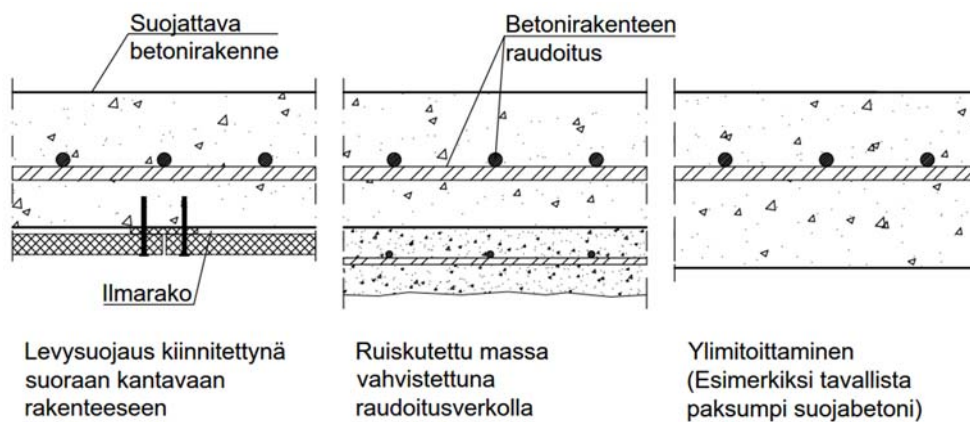
Palotekninen mitoitus tehdään eurokoodien ja niiden kansallisten liitteiden mukaisesti noudattaen tässä annettavia erityisohjeita. Palomitoitus voidaan tehdä ohjeiden mukaisilla yksinkertaistetuilla tarkasteluilla tai kattavilla analyyseillä kyseiselle palokuormalle soveltuvin osin. Betonirakenteen kantavuuden varmistamisen ohella oleellista on betonipinnan räjähdysmäisen lohkeilun rajoittaminen.

Tunnelissa palosuojattavat rakenteet on esitetty taulukossa 7. Palomitoituksessa noudatetaan liitteen 3 luokittelua. Hankekohtaisen tulkinnan palonkestovaatimuksista tekee tietunnelin hallintoviranomainen.

Palomitoituksessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Kantavat rakenteet eivät saa vahingoittua niin, että ne täytyy uusida. Lievät pinnan korjausta edellyttävät vauriot ovat hyväksyttäviä.
- Tunnelin rakenteiden jatkuva sortuma tulee estää.
- Palotilanne saa vaurioittaa verhousrakennetta niin, että se täytyy uusida. Verhousrakenteen raudoiteverkon maksimilämpötila on 600°C. Verhousrakenteen takana olevat materiaalit eivät saa syttyä verhousrakenteen betonisen suojakuoren lämpötilan nousun seurauksena.
- Palosuojamateriaali saa vahingoittua niin, että se täytyy uusida.
- Eristemateriaalin lämpötila ei saa nousta 60 minuutin palon aikana niin korkeaksi, että eristemateriaalista vapautuu ihmisille haitallista savua, kaasua, tai nestettä. Eristemateriaali ei saa kuumentua syttymislämpötilaan.
- Betonin räjähdysmäistä lohkeilua rajoitetaan lisäämällä palolle alttiiseen seinän yläosaan ja holvin verhousrakenteeseen mikropolymeerikuituja kappaleen 2.4 mukaisesti, tai muulla vastaavan vaikutuksen antavalla tavalla.

Tietunnelin kantavat rakenteet palosuojataan ensisijaisesti palosuojalevyillä tai ruiskutettavalla palosuojamassalla (kuva 3). Ylimittaminen on toissijainen palosuojausmenetelmä.



Kuva 3. Betonirakenteen palosuojausmenetelmiä

Palosuojaukseen käytettäville tuotteille ja niiden kiinnikkeille sekä kiinnitysmenetelmälle tulee hakea Liikenneviraston hyväksyntä. Palosuojarakenteen kiinnityksen tulee täyttää koko rakenteelle asetetut palonkestovaatimukset. Palosuojarakenteen tulee kestää ulkoilman kosteutta ja huoltotoimenpiteitä (esim. pesu) kohdan 2.9 mukaisesti. Palosuojalevyt kiinnitetään ilman valukiinnitystä mekaanisilla kiinnikkeillä.

Kohdan 2.4 mukaiset mikropolymeerikuidut eivät ole palosuojausmenetelmä vaan betonirakenteen räjähdysmäisen lohkeilun rajoittamismenetelmä. Valmiissa rakenteessa tulee olla vähintään 2 kg/betoni-m<sup>3</sup> SFS-EN 14889-2 mukaisia mikropolymeerikuituja betonin räjähdysmäisen lohkeilun hillitsemiseksi. Polymeerikuitujen kuitumäärän määrittäminen on esitetty liitteessä 5.

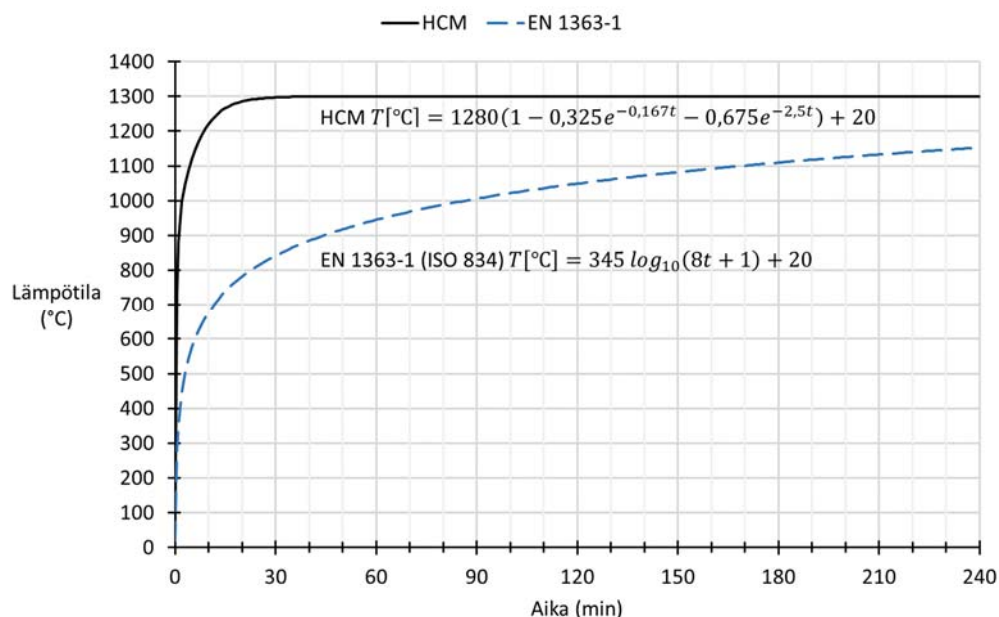


*Taulukko 7. Tietunnelin rakenneosien palosuojausvaatimukset*

Rakenneosa	Palosuojaus vaaditaan	Palonkestovaatimus
Suuaukkorakenteet	Kyllä	HCM120 tai HCM180 (Liite 3)
Betoni- ja terästunnelien kantavat rakenteet	Kyllä	HCM120 tai HCM180 (Liite 3)
Tunnelin seinän alaosa 3 m korkeuteen asti	Ei	
Osastoivat rakenteet	Kyllä	EI120 EN 13501-2
Poistumisreitit	Kyllä	EI120 EN 13501-2
Yhdyskäytävien kantavat rakenteet ja ovet	Kyllä	EI120 EN 13501-2
Yhdyskäytävien ei-kantavat rakenteet	Ei	
Verhousrakenne	Kyllä	HCM60*
Kuilujen kantavat rakenteet	Kyllä	EI120 EN 13501-2
Kuilujen ei-kantavat rakenteet	Ei	
Tekniset tilat	Ei	
Teknisissä tiloissa olevat turvallisuuteen liittyvät rakenteet	Kyllä	EI120
Kallio ja kallion lujitusrakenteet (kalliorakennesuunnittelu)	Ei	
Pohja- ja maatyttörakenteet	Ei	
Kaukalarakenteet (osana tunnelin suuaukkoa)	Ei	
Tukimuurit (osana tunnelin suuaukkoa)	Ei	
Korkeudenrajoitinportaali	Ei	
Raskaiden varusteiden tai palotilanteen hallintaan tarvittavien järjestelmien kiinnitykset (Esimerkiksi ilmanvaihto- ja savunpoistopuhaltimet, sammutus- ja savunpoistojärjestelmät, portaalit)	Kyllä	Kestettävä sortumatta +600 °C 120 min ajan
Läpiviennit	Liittyvien rakenneosien mukaan (korkeampi vaatimus, mikäli eriävät vaatimukset)	
* HCM 60 – rakenteen tulee säilyttää kantavuus 60 minuuttia kestävän HCM -tulipalon aikana		

#### 4.7.2 Vaatimukset

Palomitoitusvaatimus eri tapauksissa on koottu taulukkomuotoon liitteessä 3 ja taulukossa 7. Rakenneosan kuuluessa useampaan kuin yhteen kategoriaan käytetään vaativinta palonkestovaatimusta. Rakenteiden palotekninen mitoitus perustuu kuvassa 4 esitettyihin aika-lämpötilariippuvuuksiin HCM ja SFS-EN 1363-1 (ISO 834).



Kuva 4. Aika-lämpötilayhteys HCM- ja EN1363-1 (ISO 834) -palokäyrät

Tietunnelin rakenteet mitoitetaan seuraavien palonkestoaikavaatimusten mukaan:

- Kantavat rakenteet HCM120 seuraavin poikkeuksin:
  - Sellaiset tietunnelin kantavat rakenteet, joiden sortuminen aiheuttaa ulkopuolisen rakennuksen tai muun ulkopuolisen kantavan rakenteen sortumisen HCM180.
  - Vesistön ylivedenpinnan alapuolelle sijoitetut upotettujen ja kelluvien tunneleiden kantavat rakenteet HCM180.
- Ikkunalliset osastoivat ovet EN 13501-2 EI120, ikkunattomat osastoivat ovet EI120
  - Pelastautumisajan laskennassa ovien palonkestoajat voidaan summata, jos tietunnelin hallintoviranomainen hankekohtaisesti niin päättää. Tällöin esimerkiksi yhdyskäytävän molemmissa päissä olevat EI60 -luokitettavat ovet täyttävät yhdessä tunneliputkien välisen EI120-vaatimuksen.
  - Poistumisreitien oville annetaan tarkempia vaatimuksia Liikenneviraston ohjeessa 16/2016 ”Tietunnelien turvalliseen poistumiseen ja poikkeustilanteiden viestintään liittyvien järjestelmien suunnittelu-ohje”
- Verhousrakenteissa olevat tarkastusluukut EN 13501-2 EI60.
- Suojabetonikuoren eristeen puoleisen pinnan lämpötila HCM60 -palossa ei saa ylittää eristeen vaurioitumislämpötilaa, jos rakenteen lämmöneriste eristävältä osaltaan ei täytä B-s1, d0-luokan vaatimuksia.

Rakenteiden läpiviennit ja saumat tehdään ja tiivistetään ko. rakenteen palonkesto-aikaa vastaaviksi. Osastoivissa rakenteissa olevien palonrajoittimien palonkestävyysvaatimus on sama kuin osastoivan rakenteen vaatimus.

Verhousrakenteen ja kantavan kalliorakenteen välissä oleva ontelo ja siinä olevat lämmöneristeet palo-osastoidaan EI60-katkoilla siten, että palokatkojen keskinäinen etäisyys tunnelin pituussuunnassa on enintään 150 metriä. Yleensä palokatkojen välimatka sovitetaan yhdyskäytävien jakoon.

Palosuojaustuotteen (esimerkiksi palosuojalevy tai ruiskutettava palosuojamassa) palonkesto aika osoitetaan polttokokeeseen perustuvalla ilmoitetun laitoksen tai muun puolueettoman ns. kolmannen osapuolen polttokokeella. Polttokokeessa mitataan lämpötiloja palosuojarakenteessa ja sen takana olevassa betonirakenteessa. Tulos on voimassa 10 vuotta hyväksytyin polttokokeen suorittamisesta, mikäli tuote ei ole muuttunut polttokokeen suorittamisen jälkeen.

Palosuojaamattoman tunnelirakenteen palokestävyys on osoitettava polttokokeeseen perustuvalla ilmoitetun laitoksen tai muun puolueettoman ns. kolmannen osapuolen polttokokeella, jos tietunnelin hallintoviranomainen niin vaatii. Polttokokeessa käytetyn koekappaleen on vastattava todellista rakennetta. Tulos on voimassa 5 vuotta hyväksytyin polttokokeen suorittamisesta, mutta sitä ei kuitenkaan tarvitse uusaa saman tunnelin suunnittelu- tai rakentamisaikana.

Palosuojalevyjen ja ruiskutettavien palosuojamassojen irrottamisen on oltava paikallisesti mahdollista suojattujen rakenteiden tarkastamista varten. Rakennus-suunnitelmassa on esitettävä vähintään luonnostasoisesti tapa, jolla rakenteen palosuojaus voidaan tavanomaisin menetelmin paikallisesti poistaa ja jälleen palauttaa. Palosuojalevyjen kiinnittämisessä on käytettävä kiinnikkeitä, jotka voidaan poistaa levyä rikkomatta. Ruiskutettavan palosuojamassan adheesiotartunta kanta-vaan betonirakenteeseen voidaan estää paikallisesti esimerkiksi käsittelemällä betonirakenteen pinta tartunnan estävällä aineella tai kiinnittämällä adheesiotartunnan estävä kalvo ennen palosuojauksen ruiskuttamista. Näillä alueilla ruiskutettava palosuojamassa on kiinnitettävä palosuojattavaan rakenteeseen mekaanisilla ankkureilla ja verkkoraudoituksella.

#### **4.7.3 Mitoitus**

Rakenteiden palomitoituksessa noudatetaan seuraavia eurokoodeja ja niiden kansallisia liitteitä (YM):

- Betonirakenteet SFS-EN 1992-1-2
- Teräsrakenteet SFS-EN 1993-1-2
- Liittorakenteet SFS-EN 1994-1-2

Rakenteen tulee kestää siihen palotilanteessa kohdistuvat kuormat vaaditun palonkeston ajan. Mitoituksessa ei oteta huomioon sprinklerin tai muun sammutusjärjestelmän pienentävää vaikutusta, ellei hankekohtaisesti tietunnelin hallintoviranomaisen päätöksellä muuta sovita.

##### **4.7.3.1 Palosuojattu rakenne**

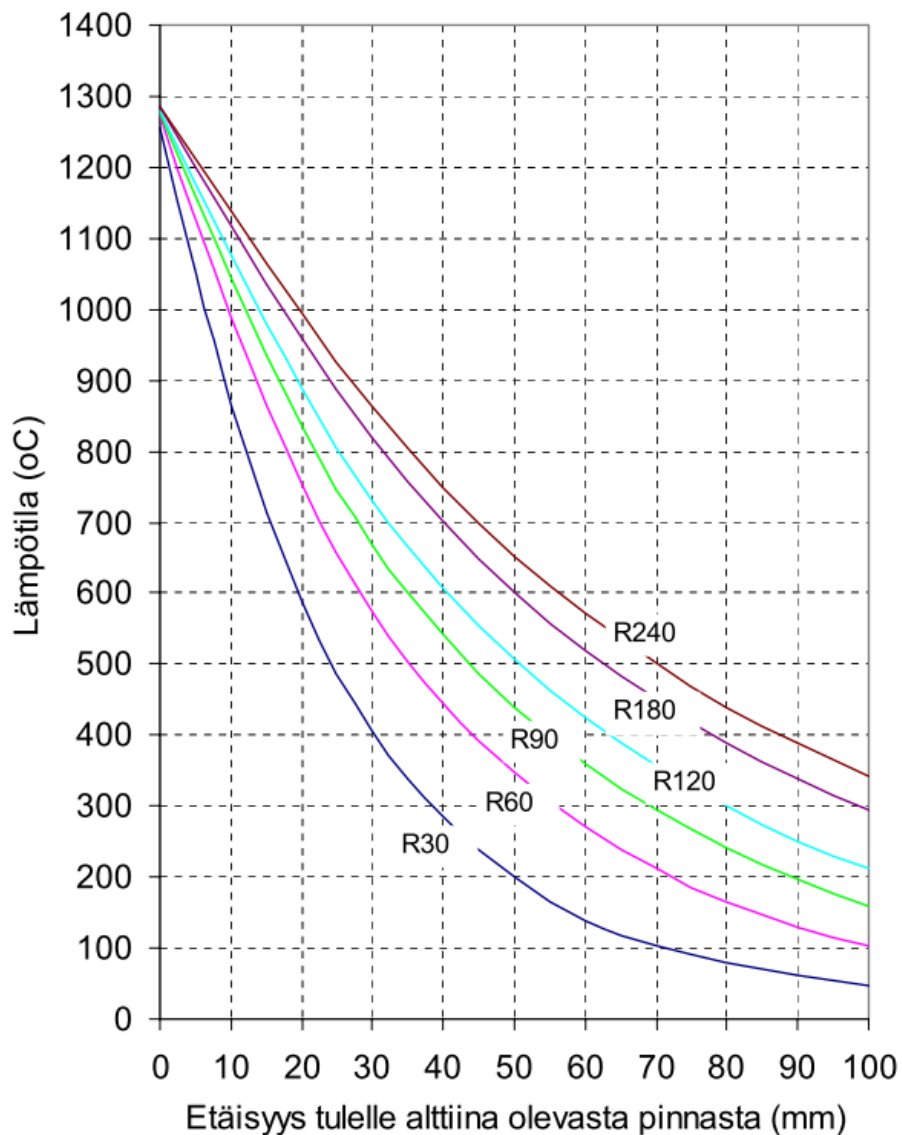
Palosuojarakenteen paksuuden mitoitus voidaan tehdä taulukon 8 materiaali-kohtaisten lämpötilarajojen mukaan. Palosuojarakenteen palonkesto on todistettava polttokokeilla, joissa koekappaleina käytetään tietunnelissa käytettävää tuotetta. Polttokokeet tehdään tunnelin palonkestovaatimuksen mukaan. Palosuojarakenne voidaan todeta riittäväksi eikä betonirakennetta tarvitse erikseen palomitoittaa, jos palosuojatun rakenteen materiaalien lämpötilat eivät ylitä taulukon 8 arvoja.

Taulukko 8. Rakennemateriaalien maksimilämpötilat

Materiaali	Maksimilämpötila °C
Betoni	380
Betonirauchoite	250
Jänneteräs	200
Rakenneteräs	300

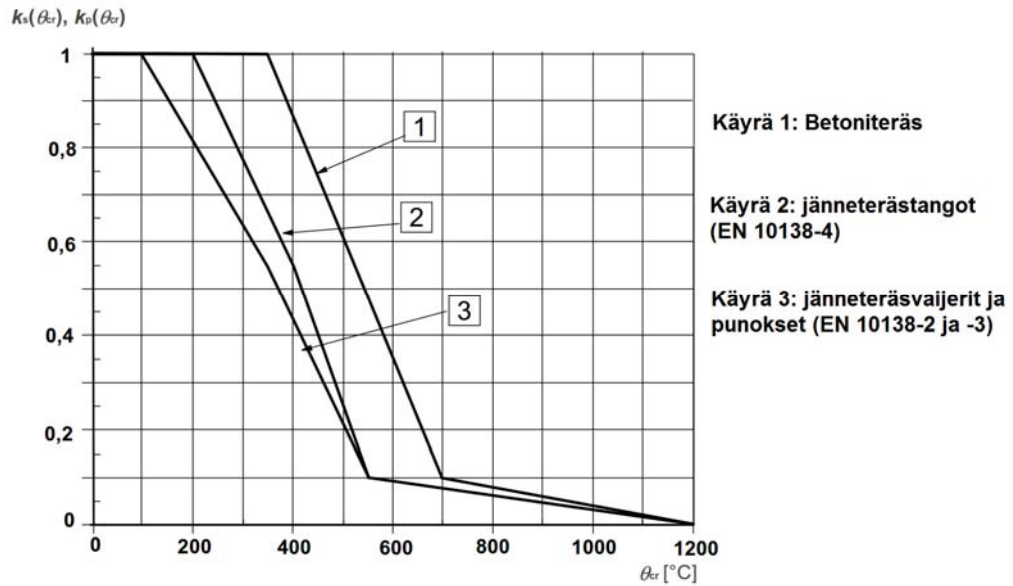
#### 4.7.3.2 Ylimoitettun suojabetonikerroksen palokestävyys

Laattamaisten teräsbetonirakenteiden terästen lämpötila tangon painopisteessä voidaan valita alla olevan kuvan (Kuva 5) mukaisesta käyrästä palonkestoajan mukaan.



Kuva 5. Lämpötilaprofiilit betonilaatoille eri ajan hetkillä palorasituksen ollessa HCM-käyrän mukainen. Betoni paksuus  $h > 200$  mm, betonin kosteusprosentti  $> 3.0$  % ja lämmönjohtavuus EN 1992-1-2: 2004 ylärajan mukainen

Betoniterästen lujuuden aleneminen lämpötilan noustessa saadaan alla olevan kuvan 6 käyrästä.

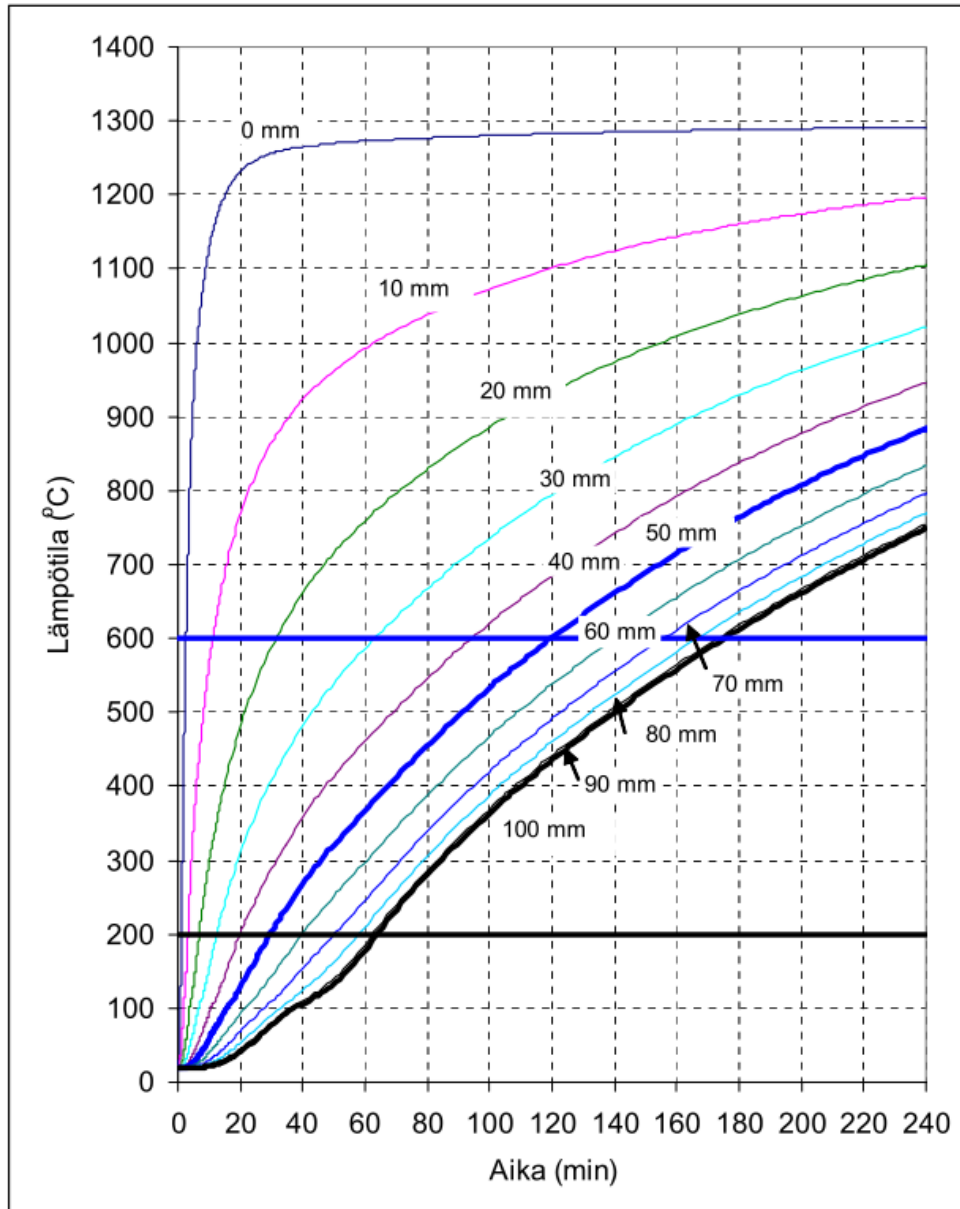


Kuva 6. Betoniteräksen lujuuden aleneminen lämpötilan vaikutuksesta, EN 1992-1-2:2004 mukaan

Mitoitusehtona on, että terästen lämpötila pysyy vaaditun palonkestoajan kriittisen lämpötilan alapuolella. Kriittisessä lämpötilassa terästen alentunut lujuus vastaa palotilanteessa teräkseltä vaadittua lujuutta. Mitoituksessa osavarmuuskertoimet valitaan onnettomuustilanteen mukaan.

#### 4.7.3.3 Lämmöneristeen suojabetonikuoren paksuuden mitoitus

Lämmöneristeen suojabetonikuoren paksuuden mitoitus tunneliaukon eristeen puoleisen pinnan lämpötilan funktiona voidaan tehdä kuvan 7 käyrästön avulla.



Kuva 7. Betonisen rakenteen lämpötilat ajan funktiona eri etäisyyksillä tulenpuoleisesta pinnasta palorasituksen ollessa HCM-käyrän mukainen. Betonikuoren paksuus on 100 mm ja takapinnalla ei tapahdu lämmön siirtymistä. Betonirakenteen raudoitteen kriittiseksi lämpötilaksi on otaksuttu +600 °C ja betonikuoren takapinnan eristemateriaalin lämpötilaksi +200 °C

## 5 Rakenteelliset vaatimukset

### 5.1 Lämpötekkninen mitoitus

Tietunneleiden rakenteet lämpöeristetään jäätymis- ja routimisvaurioiden ehkäisemiseksi. Rakennevaurioita tai routimista aiheuttava liikennöintiä, huoltoa, kunnossapitoa ja laitteita haittaava jäänmuodostus rakenteissa ja rakennekerroksissa tulee estää. Kuivatus- ja viemäröintijärjestelmien ja -laitteiden jäätyminen tulee estää.

Vedeneristyksen toimivuudella ja kuivatusjärjestelmällä on tärkeä rooli jäätymis- ja routimisvaurioiden torjunnassa. Vesivuotojen ja jäätyminen aiheuttamat turvallisuusriskit ja rakennevauriot estetään oikeilla rakennevalinnoilla ottaen huomioon kuivatus- ja lämmöneristysjärjestelmien kokonaistoimivuus.

Kalliotunnelin lämmöneristerakenteet suunnitellaan siten, ettei verhousrakenteen taakse pääse muodostumaan jäätä. Yleensä tarvitaan kalliopinnasta irti oleva vesi- ja lämpöeristetty verhousrakente, joka mitoitetaan tunnelin sisäilman pakkasmäärän funktiona.

Tietunnelin pohja louhitaan riittävän syväksi sekä varustetaan massanvaihdolla ja kuivatusjärjestelmällä routimisen estämiseksi. Koko tiepohjan laajuista lämpöeristämistä ei hyväksytä, koska rakenne on hankala kunnossapidon kannalla. Seinän alaosan perustukset ja kuivatusjärjestelmä lämpöeristetään tai ulotetaan routimattomaan syvyyteen.

Kalliotunnelin verhousrakenteen lämmöneristeet mitoitetaan pakkasmäärälle  $F_{50}$  (ks. kohta 3.4 Lumi- ja jäätyriskuormat). Vaatimustasoa voidaan luotettavien selvitysten perusteella laskea tasolle  $F_{50T}$  (ks. RATO 18). Käytännössä tämä edellyttää lähes vastaavan tunnelirakenteen kokonaisen talvikauden lämpötilaseurantaan perustuvaa analyysiä.

Tietunneleiden rakenteiden routasuojauksesta ja lämmöneristyksestä on annettu ohjeita kirjassa RIL 261-2013 ”Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet”. Liikenneviraston tietunneleissa noudatetaan näitä ohjeita.

Veden imeytymisen lämmöneristyskykyä alentava vaikutus tulee ottaa huomioon lämmöneristeen mitoituslämmönjohtavuudessa. Tunneliaukkoon rajoittuvat lämmöneristeet palosuojataan kohdan ovaatimukset täyttävästi.

### 5.2 Tunnelin vedeneristys ja kuivatus

Tietunneli tiivistetään ja varustetaan sellaisilla vedeneristysrakenteilla, että haitallisia vesivuotoja ei esiinny valmiissa tiloissa. Jäätymiselle alttiissa kohdissa ja ajokaistan yläpuolella ei saa esiintyä lainkaan vesivuotoja. Pohjaveden alapuoliset kantavat rakenteet toteutetaan vedenpaine-eristettyinä, mikäli pohjaveden vähäisestä vuotamisesta on haittaa itse rakenteelle, tilan käytölle tai maanpäällisille rakenteille. Kalliotunneleita ei yleensä mitoiteta vedenpaineelle, ellei tilan käyttö tai tilan sijainti sitä erityisesti edellytä. Käytettäville vedeneristysjärjestelmille sekä vuotoveden sallitulle määrälle tulee hakea Liikenneviraston hyväksyntä.

Betoni- ja terästunneleiden vedenpaineen alaisena eristysrakenteena käytetään tiiviin kantavan rakenteen ohella bentoniittimattoeristystä, polymeerigeomembraani-eristystä (esim. LDPE tai HDPE), 3- tai 4-kertaista kumibitumikermieristystä tai neste-mäisenä levitettävää vedeneristystä. Suunnittelija määrittelee käytettävien vedenpaine-eristeiden EN-standardien mukaiset laatuvaatimukset kohteeseen sopiviksi. Valitut tuotteet hyväksytetään Liikennevirastolla.

Vedenpaine-eristyksestä on annettu yleisiä ohjeita RT-kortissa RT 83-11032. Ohjetta voidaan käyttää soveltuvilta osin. Geotekstiileiden tuotestandardeissa on annettu tarkempaa ohjeistusta: SFS-EN 13249 käsittelee yleisemmällä tasolla tuotteita ja SFS-EN 13256 erityisesti tunnelirakenteiden osalta. Geotekstiilien käyttöä maarakenteissa käsitellään Liikenneviraston ohjeessa 2/2012 Geolujitetut maarakenteet.

Kumibitumikermien tuotestandardien (SFS-EN 13707 ja SFS-EN 14695) mukaiset laatuvaatimukset on määritetty tuoteluokittain (RIL 107-2012 mukaan). Kermeinä käytetään vähintään tuoteluokan TL 2 mukaisia kermejä.

Betoni- ja terästunneleiden saumarakenteet tulee aina varustaa yhtenäisellä kaksinkertaisella saumanauhalla tai työsaumanauhalla, sekä vedenpaineen alaiset rakenteet myös injektointiletkuilla. Injektointiletkut sijoitetaan kahteen kerrokseen. Injektointiletkujen täyttöpäikat esitetään suunnitelmissa ja täyttöpisteet rasioidaan betonirakenteen pintaan. Liikuntasauaman palosuojaus toteutetaan rakennetta vastaavaan luokkaan.

Vedenpaine-eristyksen (ja vedeneristyksen) läpiviennit minimoidaan suunnitteluratkaisuilla. Tarvittavien läpivientien detaljit suunnitellaan huolellisesti erityisiä vedenpaineen alaisiin läpivienteihin tarkoitettuja osia käyttäen.

Muut kuin vedenpaineen alaiset maakerroksiin rajoittuvat rakenteet tulee vedeneristää maatäytteisten siltakansien tapaan (NCCI 1). Vedeneristysrakenteet tulee suojata valmistajan ohjeistuksen/InfraRYL ohjeistuksen mukaisesti suojahiekalla tai muulla soveltuvalla rakenteella.

Kalliotunneli tiivistetään injektoimalla (ks. kappale 5.3). Kalliotunnelin verhousrakenne toimii vedeneristeenä ja verhousrakenteiden taustat kuivatetaan salaojitusrakenteilla. Tunneleiden tien alustäyttöihin rakennetaan kuivatusjärjestelmät, joiden kautta mahdolliset vuotovedet voidaan hallitusti johtaa maastoon. Tunneleiden ympärystäytöt salaojitetaan ja hulevedet johdetaan hallitusti maastoon. Pohjaveden alentamistoimille haetaan aina ympäristöviranomaisen ja kaavoittajan hyväksyntä. Lähtökohtaisesti tunnelit suunnitellaan ja rakennetaan siten, ettei tunneli vaikuta haitallisesti ympäröivään pohjaveden korkeuteen.



## 5.3 Kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteet

Kappaleen 1.3 mukaisesti kalliotunnelin lujitukselle ja tiivistykselle ei anneta vaatimuksia tässä ohjeessa. Seuraavissa kappaleissa on havainnollisuuden vuoksi käsitelty kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteita rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Tämän ohjeen perustana on käyttötarkoituksen mukaan kalliorakennesuunnittelijan suunnittelema lujitettu ja tiivistetty kallio. Kalliorakenteiden toimivuuden kannalta rakennesuunnittelijan ja kalliorakennesuunnittelijan on tehtävä aktiivisesti suunnitelmien yhteensovitusta, mikäli suuria kuormia ankkuroidaan kallioon tai suunniteltavilla rakenteilla on muita vaikutuksia kallioon.

### 5.3.1 Kallion lujitusrakenteet

Kalliolujituksen tehtävä on vahvistaa louhittua kalliotilaa, ohjata vesivuotoja ja estää mahdollisten kalliolohkojen putoaminen. Kalliolujitus koostuu lujituspulteista sekä ruisku- tai paikallavalubetonirakenteesta. Myös muista materiaaleista valmistettua tukirakenteita voidaan käyttää hankekohtaisesti.

Lujituspulttien tehtävä on sitoa louhinnan seurauksena mahdollisesti löytyneet tai kalliomekaanisista olosuhteista johtuen irtoamaan pyrkivät suuret kalliolohkot kiinteään kallioon. Lujitusruiskubetonirakenteen tehtävä on estää kalliopultituksen väliin jäävien pienten lohkojen putoaminen ja kallion löyhtyminen. Ruhjeisessa kalliossa se hidastaa myös kallion rapautumista.

Paikallavalu- ja elementtibetonirakenteiden käyttäminen kalliotunnelissa ei yleensä johdu lujitustarpeesta. Toisaalta etenkin huonolaatuisessa kalliossa tai tilanteissa, joissa kalliota ei ole riittävästi tunnelin ympärillä, paikallavalu- ja elementtibetonirakenteiden käyttö on perusteltua tuentatarpeen takia.

### 5.3.2 Injektointi ja vedeneristys

Vesivuotojen estämiseksi tai vuotojen vähentämiseksi kalliotunnelia ympäröivä kallio-perä voidaan injektoida tai vesieristää. Injektoinnissa kallioon porattuun reikään pumpataan sementtipitoista suspensiota, injektointilaastia tai muuta kemiallista injektointiainetta.

Ennen louhintaa suoritettavaa injektointia kutsutaan esi-injektoinniksi ja louhinnan jälkeen tehtävää injektointia jälki-injektoinniksi. Vedentiiviysvaatimuksista riippuen kalliorakennesuunnittelija määrittelee käytettävän menetelmän. Esi-injektointi on injektointimenetelmistä tehokkaampi. Jälki-injektointia voidaan käyttää ilman esi-injektointia tai puutteellisen esi-injektoinnin korjaamisessa.

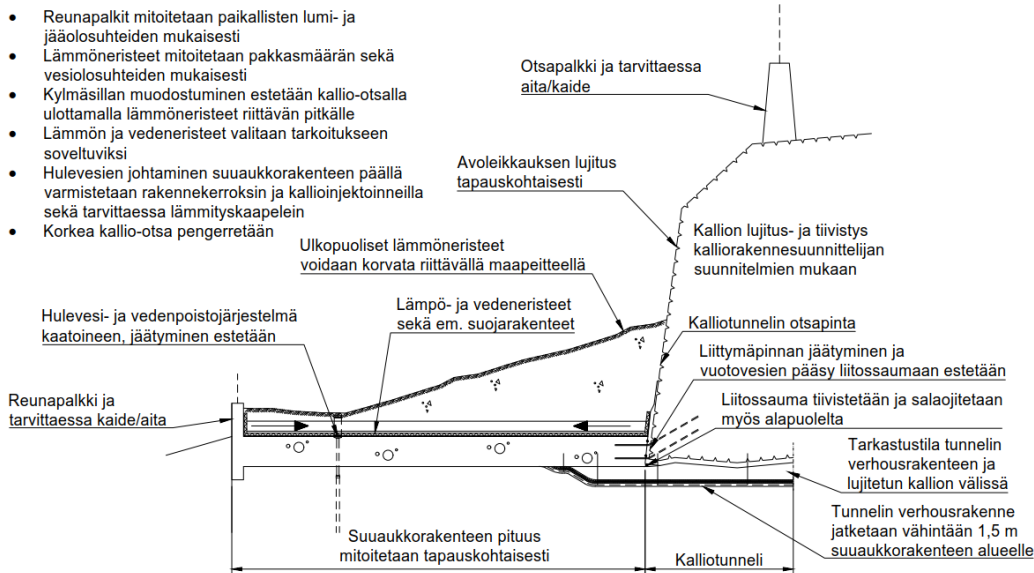
Verhousrakenne, mikäli sellainen on rakennettu, toimii yleensä vedeneristeenä. Vedeneristystä varten voidaan rakentaa betoninen vedenpainerakenne. Tavallisesti vedeneristyksellä ei tarkoiteta vedenpaine-eristystä. Verhousrakenteen lämmöneriste toimii yleensä myös vedeneristeenä. Erilaisten kalvojen käyttö osana tunneliverhousta on myös mahdollista. Ruiskubetonin tiiveyden varmistamiseksi ruiskubetonimassaan voidaan sekoittaa halkeamia sulkevaa lisäainetta. Jälkikäteen ruiskutettavia tiivistäviä lisäaineita voidaan myös käyttää erityisesti vähäisten vuotojen korjaamisessa. Lujitusruiskubetonin takana käytetään yleisesti ruiskubetonisaloja, joiden sijainti tulee selvittää ennen ankkurointien ja tartuntojen asentamista.

Tunnelin ympäristöolosuhteet, käyttötarkoitus, rakenneratkaisut, ympäröivät rakenteet, pohjaveden korkeus ja tunnelin sijainti määrittävät injektointitarpeen. Sementti-injektoinnilla voi paikoin olla myös lievä kallioperää vahvistava vaikutus.

Injektointia ja injektointityötä on käsitelty standardissa SFS-EN 12715 sekä Betoniyhdistyksen oppaassa BY 53/2006.

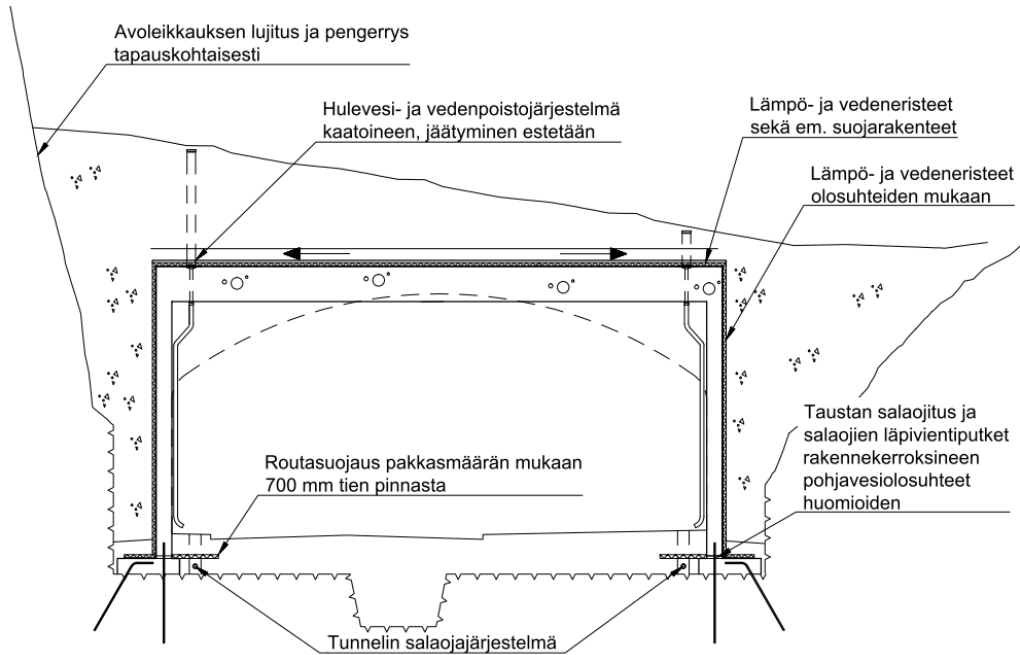
## 5.4 Suuaukkorakenteet

Suuaukkorakenteet suunnitellaan siten, että niiden avulla estetään maastosta valuvan veden, lumen ja jään pääsy ajoradalle tai kosketuksiin teknisten laitteiden kanssa. Suuaukot muotoillaan ympäristöön ja maisemaan sopiviksi. Suuaukon ympäristön muotoilulla sekä rakenteilla estetään lisäksi kivien ja muun materiaalin putoaminen ajoradalle. Suuaukkorakenteen tulee olla kantava rakenne. Kallion mahdolliset liikkeet eivät saa aiheuttaa suuaukkorakenteen vaurioitumista. Suuaukkorakenteita ja niiden detaljeja on esitetty kuvissa 8-11.



Kuva 8. Esimerkki tunnelin suuaukon rakenteesta.

Kalliotunnelin suuaukkorakenne voi koostua suuaukkoa kiertävästä otsapalkista tai kalliotunnelin otsaan liittyvästä betonitunnelista tai sen osuudesta. Betonitunneli päättyy aina suuaukkoa kiertävään reunapalkkiin ja mahdollisesti siihen liittyvään kaukalarakenteeseen tai siipimuriin. Tunnelin suuaukko varustetaan tarvittaessa kaiteella tai aidalla.

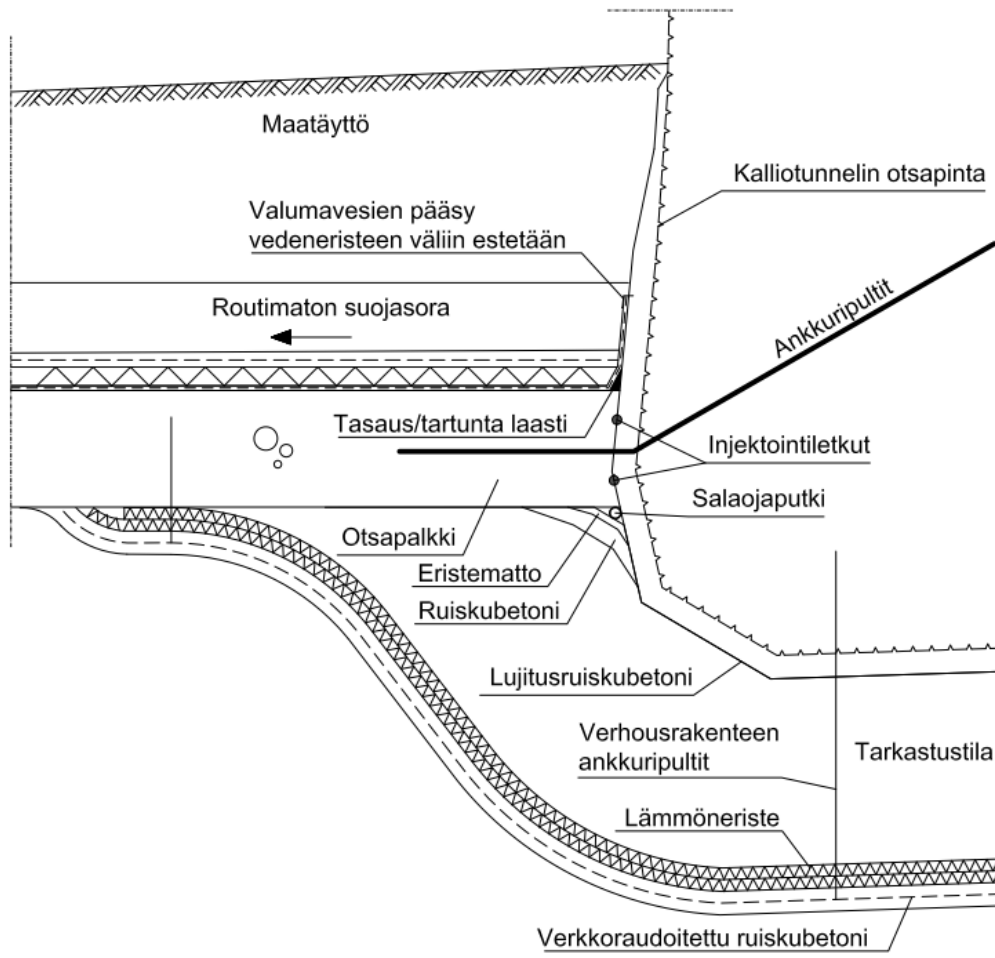


Kuva 9. Esimerkki tunnelin suuaukon rakenteesta.

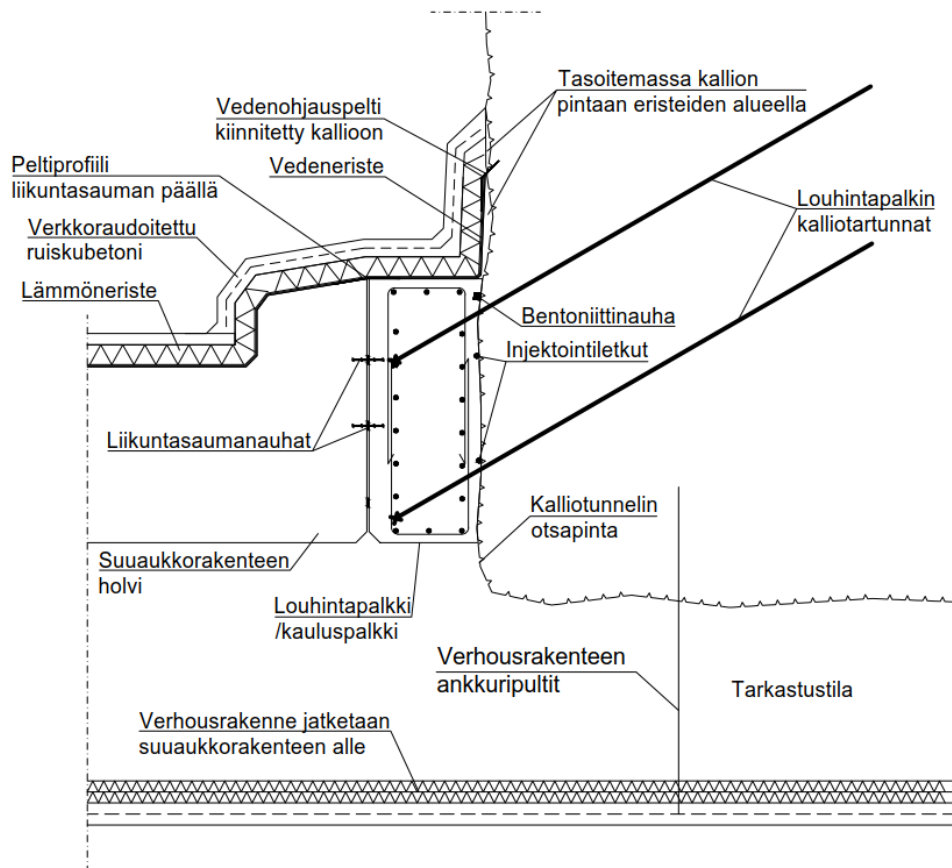
Suuaukkorakenteen pituus, reunapalkkien ja rakenteiden korkeudet sekä lämmöneristeiden laajuudet ja paksuudet mitoitetaan pakkasmäärän sekä paikallisten vesi-, jää- ja lumiolosuhteiden mukaan. Erityistä huomiota tulee kiinnittää suuaukkorakenteiden ja kallion liitoskohtien vuoto- ja jäätyyshaittojen eliminoimiseen.

Kalliotunnelin ja siihen liittyvän suuaukkorakenteen välisen sauman sulana pysymiseen kiinnitetään erityistä huomiota. Kallion ja suuaukkorakenteen välinen liitos ei saa jäätymään missään tilanteessa. Liitoksessa kalliotunnelin lämmöneristysrakenteen ulotetaan suuaukkorakenteen puolelle tai suuaukkorakenteen sisäpinta varustetaan lämmitysjärjestelmällä. Tämän lisäksi liitoksen jäätyminen ja veden pääsy saumaan estetään sauman yläpuolelta. Suuaukkorakenteen ja kallion liitoskohdassa varaudutaan vuotoihin ja mahdollisen vuotoveden hallittuun poisjohtamiseen.

Mikäli suuaukkorakenne ankkuroidaan kallioon, on suuaukkorakenteelta siirtyvät kuormat ilmoitettava kalliorakennesuunnittelijalle.



Kuva 10. Esimerkki suuaukkorakenteen liittymisestä kalliotunnelin otsaan.



Kuva 11. Esimerkki suuaukkorakenteen liittymisestä kalliotunnelin otsaan louhintapalkin välityksellä.

## 5.5 Törmäysrakenteet

Tunneliaukkoon rajoittuvien seinien alaosat (esim. elementit) suunnitellaan ja valmistetaan ohjeen ”Tiekaiteiden suunnittelu” (Liikenneviraston ohjeita 16/2014) vaatimusten ja hankekohtaisten vaatimusten mukaisesti.

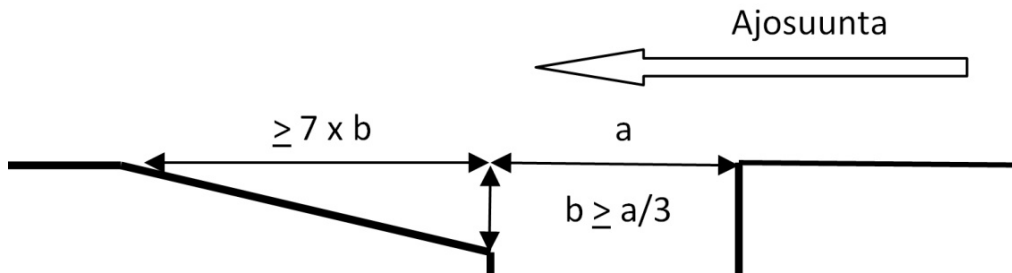
Kantavat seinän alaosan rakenteet rinnastetaan törmäysmielessä tukimuureihin. Seinien alaosat muotoillaan em. ohjeessa esitettyyn STEP-barrier-muotoon asfaltin suunnitellun yläpinnan tasosta vähintään 0,8 m korkeuteen asti.

Kantavan seinärakenteen eteen voidaan rakentaa myös erillinen seinä- tai kaide-rakenne ottamaan vastaan mahdollinen törmäys. Seinän alaosa tässä ohjeessa koskevat vaatimukset siirtyvät tällöin pääsääntöisesti erillistä rakennetta koskeviksi vaatimuksiksi.

Seinän alaosa ja mahdolliset tunnelin kaiteet aloitetaan ja päätetään kaidetyypin mukaisella siirtymärakenteella. Betonisen seinän alaosan osalta sovelletaan betoni-kaiteita koskevia ohjeita. Aloitus- ja siirtymärakenteiden valintaperusteita on esitetty Liikenneviraston ohjeen 16/2014 Tiekaiteiden suunnittelu kappaleessa 2. Esimerkkejä aloitus- ja siirtymärakenteista ovat kokoon painuvat kaiteenpäät sekä törmäysvaimentimet.

Seinien alaosat mitoitetaan kestävämmään kappaleessa 3.8 esitetyt törmäyskuormat. Suunnittelussa otetaan huomioon kappaleen 4.6 mitoitusehdot ja kappaleen 2.2 betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset.

Risteävän kulkuaukon (esim. yhdystunnelin) kulmaan törmäämisen vaikutuksia vähennetään kuvan 10 mukaisesti. Muotoilu ulotetaan tunneliaukon yläreunaan. Viisteen syvyys  $b$  mitataan seinän alaosan alareunasta. Vaakasuuntaisen viisteen alueella seinän alaosassa ei edellytetä Step barrier-muotoa.



Kuva 12. Seinän alaosan muotoilu kulkuaukon kohdalla

Tunnelin suuaukolla seinän alaosan jatkeeksi tulee betonikaide, jonka alkupää käännetään sivuun tyyppiin Ty 3/84 (Betonikaide siltapilarin kohdalla) mukaisesti. Betonikaide ankkuroidaan seinän alaosaan ja maahan, kuten Liikenneviraston ohjeessa 16/2014 "Tiekaiteiden suunnittelu" edellytetään tukimuurin ja betonikaiteen väliseltä siirtymärakenteelta.

## 5.6 Korkeudenrajoitinportaalit

Ylikorkeiden kuljetusten pääsy tunneliin estetään korkeusvaroittimin ja korkeudenrajoitinportaalien. Ne mitoitetaan kappaleessa 3.8 esitetyille törmäyskuormille.

Korkeudenrajoitinportaalit sijoitetaan 20 cm alemmaksi kuin tunnelin holviin kiinnitettyjen laitteiden alin kohta. Korkeusvaroitin sijoitetaan tunnelin lähestymisalueelle siten, että siihen osuman havaittuaan kuljettajan on mahdollista ohjata ajoneuvonsa muulle reitille ennen korkeudenrajoitinta ja tunnelia. Korkeusvaroitin asemoidaan vähintään 10 cm korkeusrajoitinta matalammalle, jolloin minimoidaan törmäykset korkeusrajoittimeen. Korkeudenrajoitinportaalit ei tarvita, jos tunneliin pääsevien kuljetusten korkeutta rajoittaa jokin tunnelia edeltävä törmäyskuormalle mitoitettu kiinteä este. Tällainen voi olla esimerkiksi kolhaisusuojalla tai törmäysrakenteella varustettu silta.

Korkeusrajoittimen ja -varoittimen liikenneteknisen sijoituksen määrittelee liikennesuunnittelija.

## 5.7 Ovet

Oven karmirakenteiden ja varauskolon pintojen välillä on oltava vähintään 20 mm suuruinen asennusvara varauskolon yläreunassa ja molemmilla pystyreunoilla. Osastoivassa rakenteessa oven tiiveys ei saa heikentyä tulipalon vaikutuksista.

Ovien on oltava ruostumattomasta materiaalista. Ovien tyyppi ja materiaalit hyväksytään Liikennevirastossa.

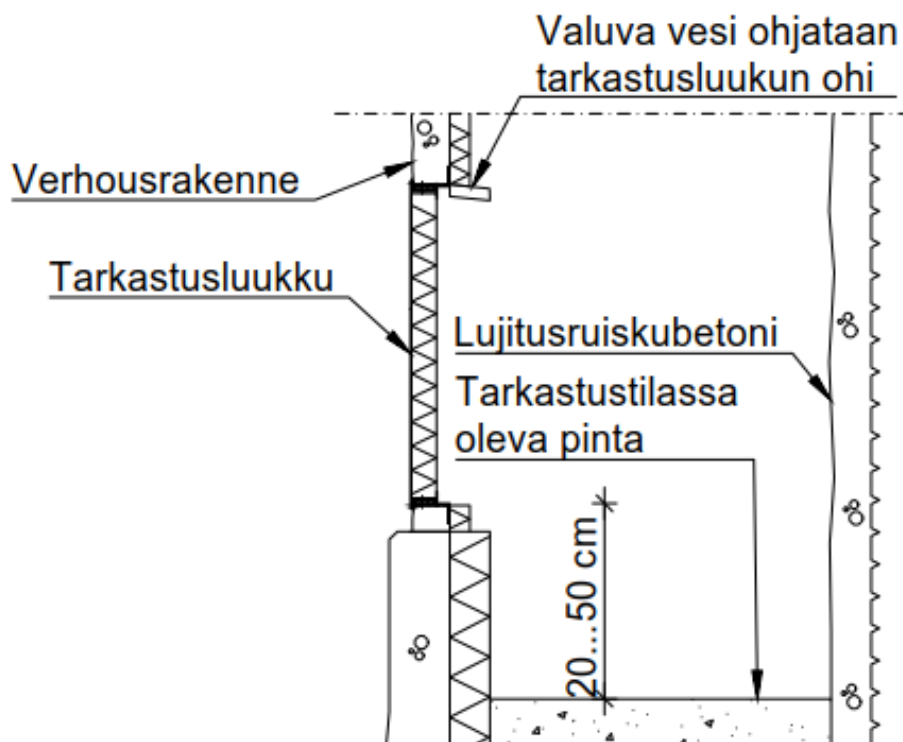
Poistumisreittien oville annetaan tarkempia vaatimuksia Liikenneviraston ohjeessa 16/2016 ”Tietunnelien turvalliseen poistumiseen ja poikkeustilanteiden viestintään liittyvien järjestelmien suunnitteluohje”.

## 5.8 Tarkastustila

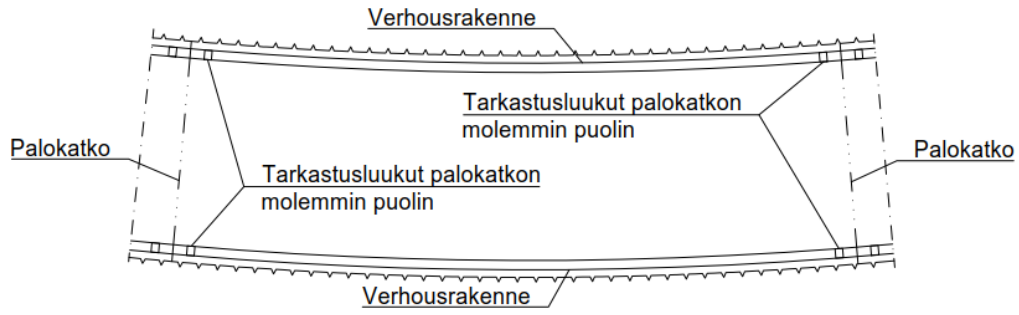
Uusia kalliotunneleita suunniteltaessa kantavan kalliorakenteen ja verhousrakenteen väliin on jätettävä vähintään 80 cm levyinen tila, joka mahdollistaa verhousrakenteen takana liikkumisen. Tila on tarkoitettu rakenteiden ja teknisten järjestelmien tarkastamista ja huoltoa varten. Samassa tilassa voi olla teknisten järjestelmien osia, jos ne eivät estä liikkumista ja rakenteiden tarkastamista.

Tarkastustilaan on oltava kulkuyhteys vähintään 150 m välein tunneliputken molemmilta puolilta. Kulkuyhteys voi olla esimerkiksi ovi teknisten tilojen yhteydessä tai tarkastusluukku (kuva 13), joilla on samat lämmöneristys- ja vedeneristysvaatimukset kuin ympäröivällä rakenteella. Kulkuaukon vapaan leveyden ja vapaan korkeuden on oltava vähintään 80 cm. Kulkuyhteyksiä on oltava vähintään 4 jokaisella palokatkovälillä (kuva 14). Kulkuaukon on oltava sellaisella korkeudella, että niiden läpi kulkeminen ei vaadi henkilönostinta. Tarkastustilassa valuva vesi on ohjattava hallitusti tarkastusluukun ohi.

Tarkastustilaan on rakennettava kiinteä kulkuyhteys verhousrakenteen päälle kiipeämiseksi, esimerkiksi tikkaat. Turvallista verhousrakenteen päällä liikkumista varten tarkastustilassa on oltava riittävästi turvaalajaiden kiinnityspisteitä.



Kuva 13. Tarkastusluukun periaate



Kuva 14. Tarkastusluukut ja palokatkot



## 6 Suunnitelmat

### 6.1 Yleistä

Valmiit rakennetekniset suunnitelmat talletetaan Liikenneviraston taitorakennesuunnitelmia koskevien ohjeiden mukaisesti.

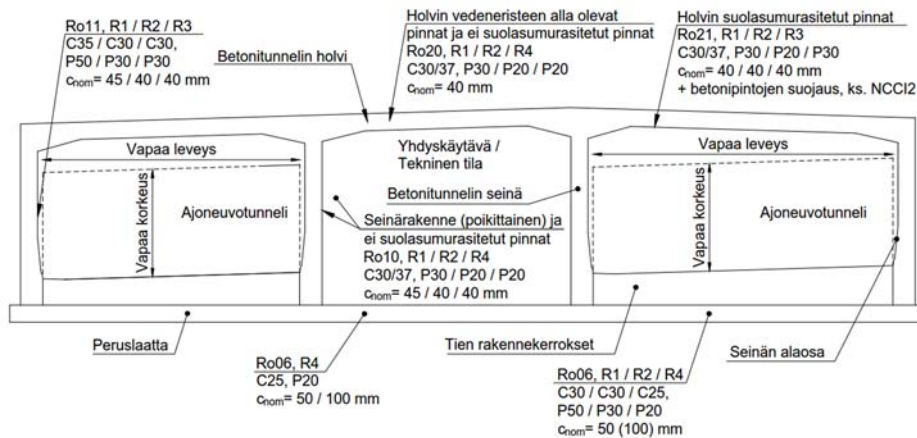
### 6.2 Suunnitelmien tarkastaminen

Tunnelin rakennussuunnitelmat tarkastetaan ”Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeen” (Liikenneviraston ohjeita 30/2014) mukaisesti. Suunnitelman tarkastajalla tulee olla vähintään sama pätevyys kuin kohteen suunnittelijalta vaaditaan.

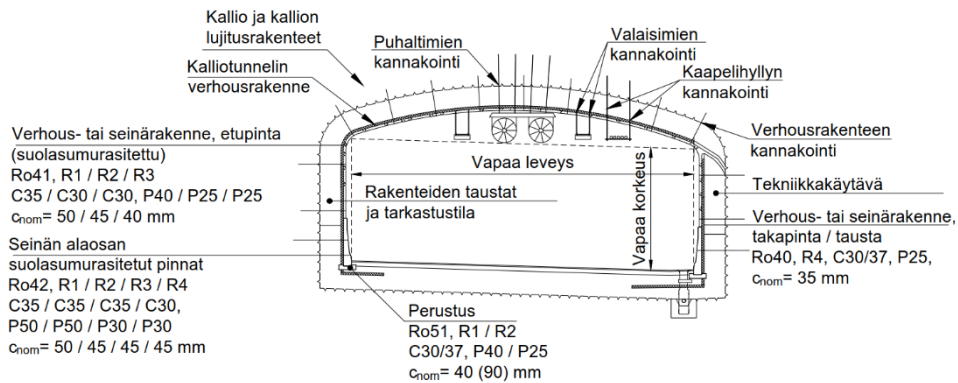
Tietunnelit kuuluvat lähtökohtaisesti tarkastusluokkaan 2. Päällerakentamisen yhteydessä tai muun merkittävän syyn takia tarkastusluokkaa korotetaan. Tarkastusluokka päätetään Liikennevirastossa.



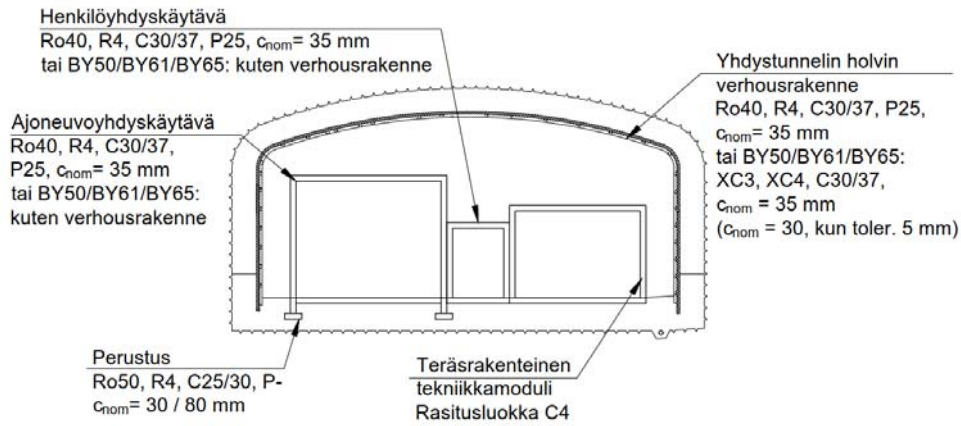
## Esimerkkejä tunnelin rakenteiden rasitusluokista ja vähimmäisvaatimuksista



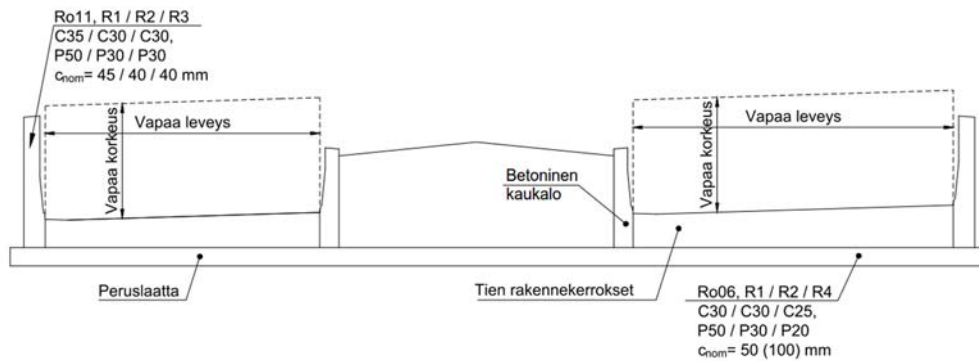
Kuva 1. Betonitunnelin rakenneosat ja rasitusluokat



Kuva 2. Tyypillisen kalliotunnelin rakenneosat ja rasitusluokat



Kuva 3. Yhdystunnelin rakenneosien rasitusluokat



Kuva 4. Suuaukkorakenteiden (esim. betoninen sisäntulokaukalo) rakenneosien rasitusluokat

## Verhousrakenteen kuormitusyhdistelyt

Alla olevissa taulukoissa on esitetty verhousrakenteen kuormien yhdistelykertoimet.

- kuorman nimi on esitetty vasemmassa sarakkeessa
- yhdistelmän yhdistelykertoimet on esitetty sarakkeittain
- Esimerkiksi - ULS1:  $1,25G+1,5Q_{\text{paine}}+0,9 Q_{\text{lämpötila}}+0,9Q_{\text{jäätymiskuorma}}$

ULS	ULS <sub>0</sub> : OMAPAIN O	ULS <sub>1</sub> : PAINEKUORM A	ULS <sub>2</sub> : LÄMPÖTIL A	ULS <sub>3</sub> : JÄÄTYMIS -KUORMA
OMAPAINO	1,35	1,25 / 0,9	1,25 / 0,9	1,25 / 0,9
PAINEKUORMA	-	1,5	1,2	1,2
LÄMPÖTILA	-	0,9	1,5	0,9
JÄÄTYMISKUORM A	-	0,9	0,9	1,5

SLS-OMINAINIS	SLS <sub>1A</sub> : PAINEKUORMA	SLS <sub>2A</sub> : LÄMPÖTILA	SLS <sub>3A</sub> : JÄÄTYMIS- KUORMA
OMAPAINO	1,0	1,0	1,0
PAINEKUORMA	1,0	0,8	0,8
LÄMPÖTILA	0,6	1,0	0,6
JÄÄTYMISKUORMA	0,6	0,6	1,0

SLS-TAVALLINEN	SLS <sub>1B</sub> : PAINEKUORMA	SLS <sub>2B</sub> : LÄMPÖTILA	SLS <sub>3B</sub> : JÄÄTYMIS- KUORMA
OMAPAINO	1,0	1,0	1,0
PAINEKUORMA	0,8	0,5	0,5
LÄMPÖTILA	0,5	0,6	0,5
JÄÄTYMISKUORMA	0,5	0,5	0,6

SLS- PITKÄAIKAINEN	SLS <sub>1C</sub>
OMAPAINO	1,0
PAINEKUORMA	0,0
LÄMPÖTILA	0,5
JÄÄTYMISKUORMA	0,0



## Palo- ja räjähdysmitoituksen lähtökohtainen laajuusvalintataulukko

	BETONITUNNELIT			KALLIOTUNNELIT (*)	
	Päällerakentamista joka voi vaurioitua tunneli- onnettomuuksissa katastrofaalisin seurauksin.	Ei päällerakentamista jonka vaurioituminen tunnelionnettomuuden seurauksena olisi katastrofaalista		Päällerakentamista alueella, jossa kalliokaton kestävyys ei välttämättä riitä estämään sortumista onnettomuustilanteessa	Muut tapaukset
		- hyväksyttävä kiertotie puuttuu ja kohtalainen liikennemäärä tai - suuri liikennemäärä	- hyväksyttävä kiertotie ja kohtalainen liikennemäärä tai - vähäinen liikennemäärä		
<b>Deflagraatiomitoitus</b>	KYLLÄ	KYLLÄ	EI	KYLLÄ	EI
<b>Detonaatiomitoitus</b>	EI	EI	EI	EI	EI
<b>Palomitoitus</b>	HCM 180	HCM 120	HCM 120	HCM 180	HCM 120

Vähäinen liikennemäärä: KVL on alle 6000.

Kohtalainen liikennemäärä: KVL on 6000-40000.

Suuri liikennemäärä: KVL on yli 40000.

\*) Kalliotunneleiden tulkitaan Suomessa pääosin olevan siten rakennettuja, ettei niiden sortuminen ole todennäköistä voimakkaassakaan palossa tai deflagraatiossa.

Lähtökohtainen taulukon tulkinta:

1. Tunnelit mitoitetaan deflagraatiolle ja HCM180 -palolle, jos
  - a. betonitunnelissa on päällerakentamista tai
  - b. kalliotunnelissa on päällerakentamista ja kalliokaton kestävyttä deflagraatiolle ei voida osoittaa kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla.
2. Tunnelit mitoitetaan deflagraatiolle ja HCM120 -palolle, jos
  - a. betonitunnelissa liikennemäärä on suuri tai
  - b. betonitunnelissa liikennemäärä on kohtalainen ja hyväksyttävä kiertotie puuttuu.
3. Tunnelit mitoitetaan HCM 120 -palolle ilman deflagraatiota, jos
  - a. betonitunnelissa on vähäiset liikennemäärät tai
  - b. betonitunnelissa liikennemäärä on kohtalainen ja tunnelille on hyväksyttävä kiertotie tai
  - c. kalliotunnelissa kalliokaton kestävyys deflagraatiolle voidaan osoittaa kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla.

Hankekohtaisen tulkinnan tekee tietunnelin hallintoviranomainen.





## Räjähdyspainekuorman dynaamisen kuormakertoimen teoriaa

Symbolien selitykset:

---

$x$ siirtymä [m]	$m$ massa [kg]
$\dot{x}$ nopeus eli siirtymän 1. aikaderivaatta [m/s]	$c$ Vaimennuskerroin [Ns/m]
$\ddot{x}$ kiihtyvyys eli siirtymän 2. aikaderivaatta [m/s <sup>2</sup> ]	$k$ jousivakio [N/m]
$F(t)$ systeemiin vaikuttava voima ajan $t$ suhteen [N]	$\omega$ värähtelytaajuus [rad/s]

---

Äkillisen painekuorman staattinen ekvivalentti määritellään yleensä painekuorman hetkellisenä maksimiarvona kerrattuna muunnoskertoimella 2. Nämä kuormat voivat olla niin lyhytkestoisia (esim. räjähdyskuormat), että rakenne, riippuen sen joustavuudesta, ”ei ehdi täysin mukaan” niiden aiheuttamaan värähtelyyn. Niissä tapauksissa voidaan perustella pienemmän muunnoskertoimen soveltamista. Tässä liitteessä esitetään perustelut muunnoskertoimen tarkempaan arvioon ja annetaan yksinkertainen kaava muunnoskertoimen arvon laskemiseksi.

Jos lineaarisissa staattisissa laskelmissa kuormat skaalataan mielivaltaisella kertoimella  $\alpha$ , skaalautuvat sekä siirtymät  $x$  että sisäiset voimasuureet  $F$  myös samalla kertoimella, jolloin sisäisten voimasuureiden ja siirtymien suhde pysyy muuttumattomana. Jos skaalauskerroimeksi valitaan etsitty muunnoskerroin, seuraa tästä, että rakenteen joka pisteessä

$$\frac{F_{dyn}}{x_{dyn}} = \frac{F_{stat}}{x_{stat}} \quad \text{mistä seuraa} \quad \frac{F_{dyn}}{F_{stat}} = \frac{x_{dyn}}{x_{stat}}$$

Tutkittavan muunnoskertoimen  $\frac{F_{dyn}}{F_{stat}}$  arvo voidaan siten myös arvioida tutkimalla siirtymien suhdetta  $\frac{x_{dyn}}{x_{stat}}$ , mikä on tämän selvityksen lähtökohta. Otetaan mielivaltainen piste rakenteessa ja tutkitaan sen kokemaa siirtymää  $x$  värähtelyn aikana. Siirtymää kuvaa differentiaaliyhtälö

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t), \quad (1)$$

jossa  $F(t)$  esittää ajasta riippuvan kuorman suuruuden. Liikkeyhtälön reunaehdot  $x(0) = \dot{x}(0) = 0$  esittävät lepotilanteen alkuhetkellä. Otaksutaan vaimennusparametriksi  $c = 0$ , mikä on aina varmallalla puolella.

$$m\ddot{x} + kx = F(t)$$

Vaimennuksen huomioonottamisen hyöty on verraten pieni, korkeintaan muutamia prosentteja.

**Tapaus 1: Askelfunktio**

Mikäli  $F(t)$  on askelfunktio (ts. kuorman kesto ei oteta huomioon, ja kuorma on ikuisesti tasainen painealto  $F$ ), on yhtälön ratkaisu annetuilla reunaehdoilla

$$x = x_{dyn} = \frac{F}{k} \cdot (1 - \cos \omega t)$$

jossa  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi f_1$ , ja jossa  $f_1$  on rakenteen (sisältäen sen pysyvät kuormat) matalin ominaistajuus. Staattisessa tilanteessa  $\dot{x} = 0$  ja  $x = x_{stat} = \frac{F}{k}$  (Hooken laki). Dynaamisen ja staattisen siirtymän suhde on

$$\frac{x_{dyn}}{x_{stat}} = 1 - \cos \omega t = 1 - \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t) \quad (2)$$

Suhteen (2) arvo, ja siten myös suhteen  $\frac{F_{dyn}}{F_{stat}}$  arvo, on suurimmallaan hetkellä  $t = \frac{1}{2f_1}$ , jolloin se saavuttaa maksimiarvon 2. Tämä maksimiarvo ei riipu kuorman suuruudesta tai rakenteen joustavuudesta (ts. sen alimmasta ominaistajuudesta). Tuloksena saadaan, että mikäli kuorman kesto ei oteta huomioon, on sovellettava muunnoskertoimen arvoksi 2. Tähän tulokseen perustuu yllä mainittu yleinen käytäntö.

**Tapaus 2: Ajassa rajoitettu tasainen impulssi**

Mikäli nyt  $F(t)$  on ajassa rajoitettu tasainen impulssi, jonka kesto on  $T$

$$\begin{cases} F(t) = F & \text{kun } t \leq T \\ F(t) = 0 & \text{kun } t > T \end{cases}$$

on yhtälön ratkaisu

$$\begin{cases} x_{dyn} = \frac{F}{k} \cdot (1 - \cos \omega t) \\ x_{dyn} = \frac{F}{k} \cdot (1 - \cos \omega T) \cdot \cos[\omega(t - T)] + \frac{F}{k} \cdot \sin \omega T \cdot \sin[\omega(t - T)] \\ \text{kun } t \leq T \\ \text{kun } t > T \end{cases}$$

Ensimmäinen vaihe ( $0 \leq t \leq T$ ) kuvastaa rakenteen liikkeelle lähtemistä painekuorman aiheuttamana, jälkimmäinen vaihe ( $t > T$ ) kuvastaa rakenteen vapaata ominaisvärähtelyä. Dynaamisen ja staattisen siirtymän suhde on

$$\begin{cases} \frac{x_{dyn}}{x_{stat}} = 1 - \cos \omega t \\ \frac{x_{dyn}}{x_{stat}} = (1 - \cos \omega T) \cdot \cos[\omega(t - T)] + \sin \omega T \cdot \sin[\omega(t - T)] \\ \text{kun } t \leq T \\ \text{kun } t > T \end{cases} \quad (3)$$

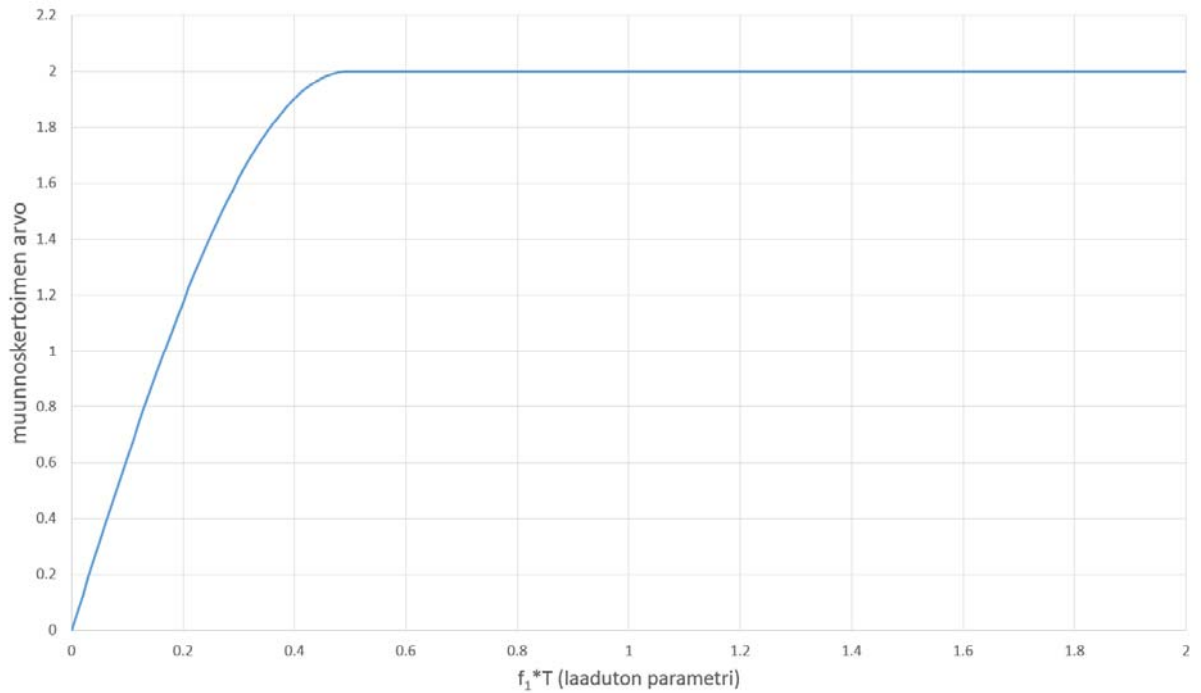
jossa edelleen  $\omega = 2\pi f_1$ . Suhteen (3), ja samalla suhteen  $\frac{F_{dyn}}{F_{stat}}$ , maksimiarvo on

$$\begin{cases} 2 \cdot \sin(\pi \cdot f_1 \cdot T) \\ 2 \end{cases} \quad \text{jos } \begin{cases} f_1 \cdot T < 1/2 \\ f_1 \cdot T \geq 1/2 \end{cases} \quad (4)$$

Tämä maksimiarvo on etsitty muunnoskertoimen arvo.

## Päätelmä: Muunnoskertoimen laskentakaava

Kun tiedossa on painekuorman kesto  $T$  ja rakenteen (ml. pysyvien kuormien) alin ominaistaajuus  $f_1$ , voidaan kaavasta (4) laskea sen kertoimen arvon, jolla muunnetaan dynaaminen kuorma sen staattiseksi ekvivalentiksi. Kuva 1 esittää muunnoskertoimen arvon laaduttoman parametrin  $f_1 \cdot T$  funktiona.

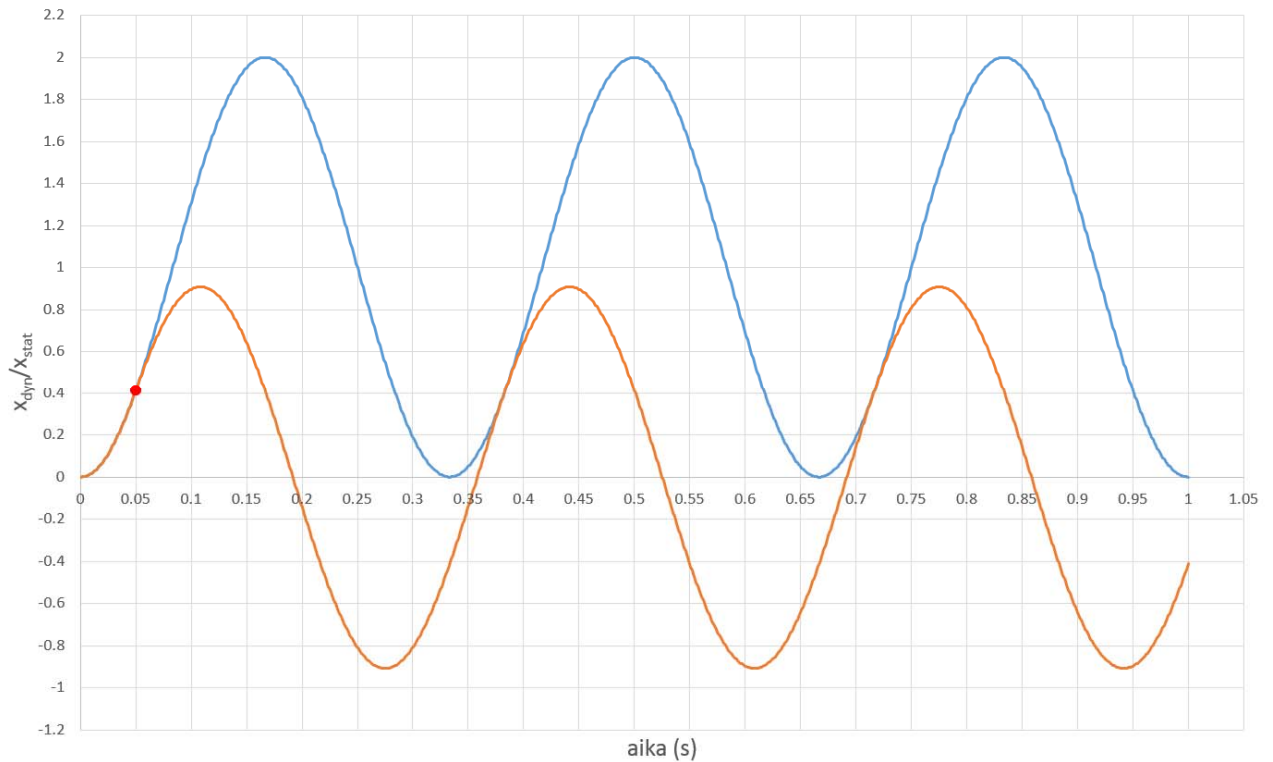


Kuva 1. Muunnoskertoimen arvo laaduttoman parametrin  $f_1 \cdot T$  funktiona, kaava (4)

**Esimerkki 1**

Tutkitaan tilanne, jossa  $T = 50 \text{ ms}$  ja  $f_1 = 3 \text{ Hz}$ . Tällöin  $f_1 \cdot T = 0,15$  ja laskentakaavan (4) mukaan muunnoskerroimen arvo on  $2 \cdot \sin(\pi \cdot f_1 \cdot T) = 0,908$ .

Kuva 2 esittää graafisesti tämän tuloksen taustan. Sininen käyrä näyttää värähtelykuvion, jos painekuorman kesto on ääretön (kaava (2)), ja oranssi käyrä värähtelykuvion, jos painekuorman kesto on  $T$  (kaava (3)). Sininen käyrä saavuttaa maksimiarvonsa hetkellä  $t = \frac{1}{2f_1} = 167 \text{ ms}$ . Kuorma on kuitenkin jo loppunut hetkellä  $t = 50 \text{ ms}$ , mikä on kuvassa merkitty punaisella pisteellä. Punaiseen pisteeseen asti käyrät menevät päällekkäin, sen jälkeen oranssi käyrä siirtyy ominaisvärähtelyyn (symmetrisesti 0-akselin molemmin puolin). Punaisen pisteen kohdalla  $\frac{x_{dyn}}{x_{stat}} = 1 - \cos(2\pi \cdot 0,15) = 0,412$ ; sen jälkeen liike jatkuu vielä vähän aikaa samansuuntaisesti saavuttaen maksimiarvona yllä laskettu arvo 0,908.



Kuva 2. Esimerkki, jossa  $f_1 \cdot T < 0,50$

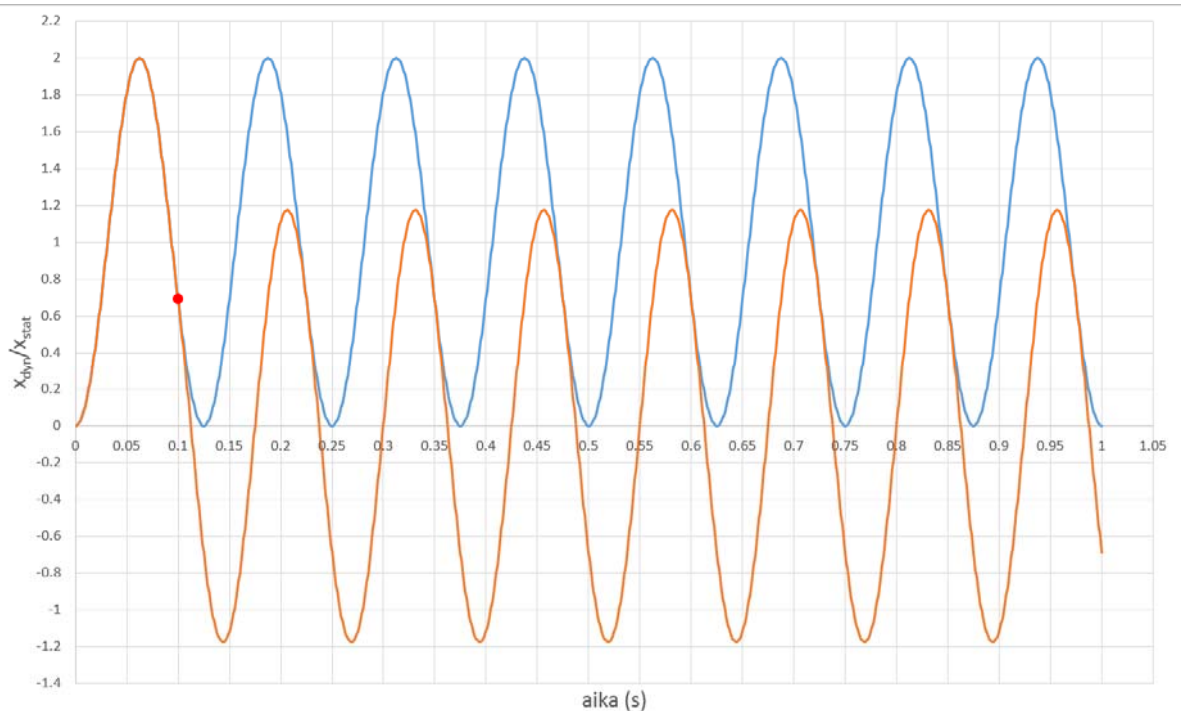
## Esimerkki 2

Tutkitaan tilanne, jossa  $T = 100 \text{ ms}$  ja  $f_1 = 8 \text{ Hz}$ . Tällöin  $f_1 \cdot T = 0,80$  ja laskenta-  
kaavan (4) mukaan muunnoskerroimen arvo on 2.

Kuva 3 esittää graafisesti tämän tuloksen taustan samalla tavalla kuin kuva 2  
esimerkille 1. Ominaisvärähtelyvaiheessa (punaisen pisteen jälkeen) oranssi käyrä  
saavuttaa maksimiarvon

$2 \cdot \sin(\pi \cdot f_1 \cdot T) = 1,176$ . Tätä ennen on kuitenkin kerran saavutettu korkeampi huippu,  
arvolla 2, ajassa

$t = \frac{1}{2f_1} = 62,5 \text{ ms}$ , jolloin kuorma oli vielä voimassa. Tässä tapauksessa rakenne on  
hetkellisesti ehtinyt täysin mukaan värähtelyyn, ja siksi on sovellettava sama  
muunnoskerroin kuin tilanteessa, jossa paineaalto olisi ikuisesti jatkuva.



Kuva 3. Esimerkki, jossa  $f_1 \cdot T > 0,50$

Mikäli kuorma on ajassa rajoitettu mutta ei ole tasainen sen vaikutusajan aikana, on  
differentiaaliyhtälön ratkaisu erilainen, ja siten myös muunnoskerroimen laskenta-  
akaava.

## Dynaamisten lujuuksien huomioiminen

Staattisissa tilanteissa jännitys-venymäkäyrät on selkeästi määritetty

$$\sigma = f(\varepsilon)$$

Linearisissa staattisissa tilanteissa tämä suhde on lineaarinen

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Dynaamisissa tilanteissa jännitykset eivät riipu ainoastaan venymästä, mutta myös venymänopeudesta

$$\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$$

Dynaamiset lujuudet ovat suuremmat kuin staattiset. Dynaamiset lujuudet lasketaan korottamalla staattiset arvot DIF-kertoimilla ("Dynamic Increase Factor"), joihin löytyy kaavoja kirjallisuudesta, mm. [1]. Nyrkkisääntönä voi pitää, että DIF-kertoimien suuruusluokka pommiräjähdykselle on 1,10...1,20. DIF-kertoimet on arvioitava tapauskohtaisesti ja sovellettava varoen, sillä ne ovat erilaisia saman mallin eri rakenneosille, eri kuormitustavoille (vedetty, puristettu tai taivutettu rakenneosa), eri materiaaleille, ja ne riippuvat myös kuorman äkillisyydestä. DIF-kertoimilla ei siksi voi suoraan pienentää ekvivalenttia staattista kuormaa, mutta niillä voi tarkemmin arvioida rakenneosan todellinen kestävyys.

Mikäli rakenneosien mitoitus ekvivalentti-staattisessa mallissa tapahtuu staattisten lujuusominaisuuksien perusteella (ilman DIF-kertoimien huomioon ottamista), sisältää suunnitteluun ylimääräistä varmuutta. Tämän varmuuden suuruus on arvioitava, joka rakenneosalle tapauskohtaisesti.

## Lähteet

[1] Betonkalender 1997, luku E "Baudynamik", kappale 3 "Materialverhalten unter dynamischer Beanspruchung", s. 780-796

Liite on muokattu alkuperäisestä Sweco Rekennetekniikka Oy:n 5.4.2017 laatimasta selvityksestä.

## Kuitupitoisuuden määrittäminen

Kuituvahvisteisen betonin kuitupitoisuus määritetään polymeerikuituvahvisteista ruiskubetonia käytettäessä aina tuoreesta ruiskubetonista. Teräskuituvahvistetun ruiskubetonin näytteenotto on esitetty standardissa SFS-EN 14488-7. Ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta on esitetty laajemmin standardissa SFS-EN 14487-1. Tämän liitteen ohjetta voidaan soveltaa ruiskubetoni-, paikallavalu- ja elementtirakenteille.

### Polymeerikuitupitoisuus

#### *Näytteenotto paikallavalu- ja elementtirakenteista*

Paikallavalu- ja elementtirakenteista valmistettaessa näyte otetaan valusuppilosta kauhalla kolme 1–2 kg näytettä astiaan. Tuoreesta ruiskubetonista kuidut saadaan eroteltua huuhtelemalla näytettä runsaalla vedellä.

#### *Näytteenotto ruiskubetonirakenteista*

Tuoreen ruiskubetonin näyte otetaan välittömästi ruiskutuksen jälkeen seinästä kaapimalla. Näyte kaavitaan seinästä 10 dm<sup>3</sup> astiaan. Astia pyritään saamaan täyteen. Astiaan ei lisätä maahan tippuneita kuituja.

Näytteen saaminen jo ruiskutetusta betonista edellyttää kiihdytin annostuksen pienentämistä näytteenottokohdassa. Työturvallisuuden vuoksi näytettä ei saa ottaa kohdasta, jossa holvi on jo ruiskutettu.

#### *Näytteen valmistelu näytteenoton jälkeen*

Otetun betoninäytteen tilavuus määritetään vedensyrjäytysmenetelmällä tai muulla luotettavalla keinolla 0,01 dm<sup>3</sup> tarkkuudella. Käytetty tilavuudenmäärittäminen menetelmä dokumentoidaan tarkasti. Ämpäriin sisältö kaadetaan isompaan astiaan, jossa kiviaines ja sementti huuhdellaan pois. Kuidut kerätään talteen huuhtotusta näytteestä tarkasti soveltuvalla siivilällä ja pestään betonia syövyttävällä aineella kaiken sementin irtoamisen varmistamiseksi. Sementin täydellisestä huuhtoutumisesta on varmistuttava kuitujen ja sementin suuren tiheyseron vuoksi. Kuitujen on oltava täysin kuivia ennen punnitusta.

#### *Kuitupitoisuuden määrittäminen*

Kuidut erotellaan muusta betonista edellisten kohtien mukaisesti ja punnitaan 0,01 gramman tarkkuudella. Kuitupitoisuus määritetään 0,1 kg/m<sup>3</sup> tarkkuudella kaavalla (1).

$$C_f = \frac{m_f}{V_d} \quad (1)$$

jossa  $C_f$  on kuitupitoisuus [kg/m<sup>3</sup>],  $m_f$  on näytteestä erotettujen kuitujen massa [kg] ja  $V_d$  on näytteen tilavuus [m<sup>3</sup>]. Koetuloksista lasketaan keskiarvo ja -hajonta. Näin määritetty tulos on näyte-erän kuitupitoisuus.

## **Teräskuitupitoisuus**

### ***Näytteenotto***

Näytteenotto tehdään standardin SFS-EN 14488-7 mukaisesti. Kovettuneesta betonista porataan kolme halkaisijaltaan 50–100 mm ja pituudeltaan 75–100 mm kokoista näytettä. Tuoreesta betonista otetaan kauhalla kolme 1–2 kg näytettä lisäämättä massaan jääviä kuituja näytteeseen. Näytteen tilavuus määritetään vedensyrjäytysmenetelmällä tai kappaleen mitoista laskemalla.

### ***Kuitupitoisuuden määrittäminen***

Kuidut erotellaan muusta betonista ja punnitaan 0,1 gramman tarkkuudella. Erottelu voi tapahtua murskatusta näytteestä keräämällä tai huuhtelemalla tuore näyte soveltuvan siivilän päällä. Kuitupitoisuus määritetään kaavalla (1),  $0,1 \text{ kg/m}^3$  tarkkuudella.





ISSN-L 1798-663X  
ISSN 1798-6648  
ISBN 978-952-317-432-0  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto

# Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus