



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Pauliina Heinilä

OHJE BETONIRAKENTEIDEN RASI-
TUSLUOKKIEN VALINTAAN SELLU-
TEHTAASSA

Pöyry Finland Oy

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Pauliina Heinilä
Opinnäytetyön nimi	Ohje betonirakenteiden rasitusluokkien valintaan sellutehtaassa
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	42 + 10 liitettä
Ohjaaja	Jari Lehtiö Kari Vilhunen, Henrik Groop, Tuomo Tuomi

Selluteollisuus on yksi suurimmista teollisuuden aloista Suomessa. Megatrendit vaikuttavat sellun kysyntään positiivisesti. Muun muassa muovin korvaaminen biohajoavilla tuotteilla, väestönkasvu sekä nettikaupan yleistymisen lisäävät kuitupakkausmateriaalien kysyntää.

Paperi- ja selluteollisuus on suuri työllistäjä Pöyry Finland Oy:ssä. Pöyryllä on vuosikymmenten kokemus sellutehtaiden suunnittelusta sekä tehdasprojektien toteuttamisesta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Pöyrylle ohje sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokkien valinnasta suunnittelijoiden käyttöön.

Olosuhteet sellutehtaan osastoilla ovat erilaisia, joten betonirakenteiden rasitusluokat eivät ole samat joka osastolla. Opinnäytetyö auttaa suunnittelijaa ymmärtämään sellutehtaan toimintaa, sekä tehtaassa aiheutuvia rasituksia betonirakenteille. Opinnäytetyön teossa apuna käytettiin alan kirjallisuutta ja julkaisuja sekä Pöyryn aikaisemmin toteutuneita sellutehdasprojekteja. Työn sisältämät leikkauskuvat toteutettiin AutoCad-ohjelmalla.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin ohje, jossa esitetään sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokat ympäristön olosuhteet huomioon ottaen osastoittain. Ohje rasitusluokkien valinnasta voi nopeuttaa suunnittelijan työtä projektitasolla huomattavasti.

ABSTRACT

Author	Pauliina Heinilä
Title	Guide for Choosing The Exposure Classes of Concrete Structures in Chemical Pulp Mill
Year	2019
Language	Finnish
Pages	42 + 10 Appendices
Name of Supervisor	Jari Lehtiö Kari Vilhunen, Henrik Groop, Tuomo Tuomi

Chemical pulp industry is one of the largest fields of industry in Finland. Megatrends affect positively on the demand of chemical pulp. The growth of population, replacing plastic with biodegradable products and the growth of online shopping increase the consumption of fiber packaging materials.

Paper- and pulp industry is a large employer in Pöyry Finland Oy. Pöyry has decades of experience in designing pulp mills and implementation of mill projects. The purpose of the thesis was to make a guide for designers about choosing the right exposure classes for concrete structures in chemical pulp mills.

The environmental conditions vary in the departments of pulp mill, so the exposure classes are not the same in every department. This thesis makes it easier for the designer to understand the operation of chemical pulp mill, as well as the stresses on the concrete structures at the mill. Literature and publications in the field and Pöyry's earlier chemical pulp mill projects were used as material for the thesis. The section view drawings contained in the thesis were made with Auto-Cad.

As a result of the thesis, there is a guide that represents the exposure classes of concrete structures by departments in a chemical pulp mill. The guide about choosing the right exposure classes can speed up the designer's work considerably on a project level.

Keywords	Chemical pulp mill, concrete, exposure classes and civil engineering
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Tavoitteet.....	8
2	RASITUSLUOKAT	10
2.1	X0-luokka: Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä	10
2.2	XC-luokka: Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio.....	10
2.3	XD- ja XS-luokat: Kloridien aiheuttama korroosio	13
2.4	XF-luokka: Jäätymis-sulamisrasitus	15
2.5	XA-luokka: Kemiallinen rasitus	17
2.6	Rasitusluokkayhdistelmät.....	20
3	SELLUTEHDAS.....	22
3.1	Kuitulinja.....	23
3.1.1	Puunkäsittely	23
3.1.2	Keittäminen.....	23
3.1.3	Pesu.....	23
3.1.4	Lajittamo	24
3.1.5	Happidelignifointi.....	25
3.1.6	Valkaisu.....	25
3.1.7	Kuivatus	26
3.1.8	Paalaus	27
3.2	Talteenottolinja	27
3.2.1	Haihduuttamo	28
3.2.2	Soodakattila ja turbiini.....	28
3.2.3	Kaustisointi ja meesauuni	28
3.3	Jätevesien käsittely.....	29
3.3.1	Jätevesien mekaaninen puhdistus	29
3.3.2	Aktiivilietemenetelmä.....	30

4	BETONIRAKENTEIDEN RASITUKSET SELLUTEOLLISUUDESSA....	31
4.1	Pakkasrasitus.....	31
4.2	Raudoituksen korroosio.....	31
4.3	Kemiallinen rasitus.....	33
5	TOTEUTUS.....	35
5.1	Teoriaosuus.....	35
5.2	Leikkauskuvat.....	35
6	TULOKSET.....	36
6.1	Kuitulinja.....	36
6.2	Talteenottolinja.....	37
6.3	Jätevesien käsittely.....	38
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	39
7.1	Tulosten tarkastelu.....	39
7.2	Käyttökelpoisuus.....	39
7.3	Pohdinta.....	39
	LÄHTEET.....	41

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Sellun valmistuskaavio. /4/.....	22
Taulukko 1. XC-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/	11
Taulukko 2. XD- ja XS-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/	14
Taulukko 3. XF-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/	16
Taulukko 4. Luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttaman kemiallisen rasituksen rasitusluokkien raja-arvot. /2/	18
Taulukko 5. Paalujen rasitusluokkayhdistelmä pohjaveden sulfaatti- ja/tai kloridipitoisuuden mukaan. /2/	20
Taulukko 6. Normaalit rasitusluokkayhdistelmät. /2/	20

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Puunkäsittely**LIITE 2.** Keittämö**LIITE 3.** Valkaisu ja happidelignifointi**LIITE 4.** Kuivaamo, viira- ja puristinosa**LIITE 5.** Kuivaamo, kuivauskone**LIITE 6.** Haihduttamo**LIITE 7.** Soodakattila**LIITE 8.** Turbiini**LIITE 9.** Meesauuni**LIITE 10.** Ilmastusallas

1 JOHDANTO

Selluteollisuus on viime vuosina kasvanut tasaisesti sekä Suomessa, että ympäri maailmaa. Vaikka paperikoneita on suljettu tai muutettu kartonkikoneiksi digitalisaation vaikutuksesta, sellun menekki on kasvanut. Megatrendit lisäävät kuitupakkausmateriaalien kysyntää, esimerkiksi nettikaupan kasvu, muovin korvaaminen biohajoavilla tuotteilla sekä väestönkasvu.

Opinnäytetyön toimeksiantaja Pöyry Finland Oy on osa Pöyry-konsernia. Pöyry on kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, joka tarjoaa asiakkailleen lämpö- ja sähkövoiman tuotantoon, siirtoon ja jakeluun, metsäteollisuuteen, biojalostukseen ja kemianteollisuuteen, kaivos ja metalliteollisuuteen, sekä infraan, vesihuoltoon ja ympäristöön liittyviä palveluja. Pöyry on perustettu vuonna 1958. Pöyryllä työskentelee noin 5500 asiantuntijaa 40 eri maassa. /1/

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aihe on sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokat. Aihe on kiinnostava, koska toimeksiantaja on suunnitellut ja toteuttanut sellutehtaita kymmeniä vuosia. Olosuhteet sellutehtaan osastoilla ovat erilaisia, joten betonirakenteiden rasitusluokat eivät ole samat joka osastolla. Opinnäytetyöstä on konkreettista hyötyä sellutehtaiden suunnittelijoille.

Rasitusluokat vaihtelevat betonirakenteiden paikallisen ympäristön olosuhteiden mukaan, joten suunnittelijan on käytettävää omaa ammattitaitoaan niitä valitessaan. Opinnäytetyössä käsitellään vain betonirakenteita. Teräs- ja muuratut rakenteet on rajattu pois, sillä ne vaatisivat oman perehtymisensä erilaisine pinnoituksineen, jolloin opinnäytetyö kasvaisi liian laajaksi.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia ohje ja leikkauskuvat sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokkien valinnasta, jota suunnittelijat voivat hyödyntää työssään. Opinnäytetyö auttaa suunnittelijaa ymmärtämään mitä hän suunnittelee, jos aiempaa kokemusta sellutehtaista ei ole. Teoriaosassa esitetään betonirakenteiden

rasitusluokat, sellutehtaan toiminta sekä sellun valmistus yleisellä tasolla. Lisäksi tutkitaan ympäristön olosuhteita sellutehtaassa, sekä niiden aiheuttamia rasituksia betonirakenteille. Tietoa rasitusluokista sekä sellutehtaan toiminnasta kerättiin alan kirjallisuudesta ja julkaisuista.

Tutkimusosassa tietoa sovelletaan esimerkeiksi sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokista sellutehtaassa, sekä määritellään toimenpiteitä, joilla betonirakenteiden rasitusta voidaan ehkäistä. Ohjeella voidaan saavuttaa huomattavaa ajansäästöä projektitasolla. Esimerkit sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokista esitetään leikkauskuvilla. Apuna käytettiin toimeksiantajan aiemmin valmistuneita kohteita.

2 RASITUSLUOKAT

Rasitusluokat kuvaavat millaiseen ympäristöön betonirakenne rakennetaan. ”Rasitusluokkien tulee vastata mahdollisimman hyvin ympäristön todellisia rasituksia ja olosuhteita.” /2/ Paras mahdollinen tulos saadaan, kun rasitusluokkien vaatimustaso on oikein mitoitettu ja valutyö voidaan tehdä sujuvasti. Hankalasti valettavien rakenteiden käyttöikä voi lyhentyä muun muassa mikrohalkeilun ja huonon tiivistymisen takia. /2, 3/

Rasitusluokat eivät ole aina yksiselitteisiä. ”Esimerkiksi pakkasrasituksen (ei suolarasitusta) osalta on valittavana vain kaksi tasoa, XF1 ja XF3.” Rasitusluokka ei näin ollen voi aina vastata täydellisesti todellista kuormitusta. Rasitusluokkia valittaessa ei kuitenkaan tulisi valita ”varmuuden vuoksi” mahdollisimman ankaraa rasitusluokkaa, koska se kasvattaa rakentamisen kustannuksia eikä paranna betonirakenteen laatua, vaan saattaa jopa heikentää sitä. /2/

”Esimerkiksi liian korkea XD- tai XS-luokka kasvattaa betonipeitteen paksuutta ja siten lisää rakenteen halkeiluriskiä. Vaihtoehtoisesti liian korkea XD- tai XS-luokka voi alentaa vesi-sementtisuhdevaatimusta ja sitä kautta kasvattaa sementtimäärää. Korkeampi sementtimäärä johtaa korkeampaan kovettumislämpötilaan ja korkeampaan kutistumaan.” /2/

2.1 X0-luokka: Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä

”Luokkaan kuuluvat betonit, joissa ympäristöolosuhteet eivät rajoita rakenteen käyttöikää. Tällaisia rakenteita ovat tyypillisesti raudoittamattomat tai raudoitettut, hyvin kuivissa olosuhteissa, ei-pakkasrasitukselle alttiina olevat rakenteet.” Esimerkkinä asuinrakennuksen välipohjat ja -seinät. /2/

2.2 XC-luokka: Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio

”Raudoituksen korroosio on sähkökemiallinen ilmiö, jossa raudan yhdisteet pyrkivät muuttumaan takaisin niiksi yhdisteiksi, joita siinä luonnossa esiintyy. Betonin teräskorroosiota ehkäisevä vaikutus perustuu sen fysikaaliseen ja kemialliseen suojavaikutukseen.” Betoni antaa fysikaalisen suojan teräksille siten, että korroosion kannalta välttämättömien aineiden, eli veden ja hapen tunkeutuminen te-

rästen läheisyyteen hidastuu. Fysikaalisen suojan tehokkuuteen vaikuttaa betoni-
peitteen paksuus ja tiiveys, sekä mahdollinen halkeilu. /2/

”Kemiallinen suojavaikutus perustuu betonin luontaiseen emäksisyyteen ja teräk-
sen kykyyn muodostaa pinnalleen tiivis oksidikalvo emäksisessä ympäristössä.”
Betonin emäksisyyteen vaikuttaa pääasiallisesti sementin hydrataatiossa syntyvä
kalsiumhydroksidi. Betonin huokosveden pH-arvoa nostaa sementin sisältämät
alkalit. ”Portlandsementistä valmistetun betonin pH-arvo on tavallisesti noin
13...14. Kun betonin emäksisyys laskee arvon 9 alapuolelle, betonin kemiallinen
suojaus vaikutus häviää ja rauditus menettää passiivisuutensa. Tällöin teräksen kor-
rosio voi alkaa, mikäli muut teräskorroosion edellytykset ovat olemassa.” /2/

Taulukko 1. XC-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/

Rasitusluokka, määritelmä	Tyypilliset rakenteet
XC1: Kuiva tai jatkuvasti märkä	Rakenteet, joissa mahdollisesta nope- asta karbonatisoitumisesta huolimatta terästen ruostuminen on hyvin hidasta, kuten kohtuullisen kuivat sisätilat. Li- säksi rakenteet, joissa karbonatisoitu- minen on kosteusolosuhteista johtuen hyvin hidasta, esimerkiksi vedenalaiset rakenteet. Tyypillisiä rakenteita ovat sisätilat, joissa on alhainen kosteuspitoisuus tai jatkuvasti vedenpinnan alla olevat ra- kenteet. Kerroksellisen seinärakenteen sisäkuori. Rakenteen käyttöäksi void- aan valita 50, 100 tai 200 vuotta.
XC2: Kosteaa, harvoin kuiva	Pitkiä aikoja veden kanssa kosketuk- sissa olevat rakenteet. Rakenteet poik- keavat XC1:n kosteista rakenteista sii- nä, että XC2:ssa rakenteet voivat aika- ajoin myös kuivua. Karbonatisoituminen on hidasta näissä olosuhteissa. Tyypillisiä rakenteita ovat useimmat perustukset, siltojen perustukset sekä siirtymälaatat.

<p>XC3: Kohtalaisen kostea</p>	<p>Rakenteet, jotka ovat kosteassa ympäristössä, mutta eivät kuitenkaan kyllästy vedellä. Olosuhteet ovat karbonatisoitumisen kannalta pahimmat mahdolliset. Luokka poikkeaa XC4:stä siinä, että rakenteen mahdollinen jäätyminen ja sulaminen eivät alhaisesta vedenkylästyamisasteesta johtuen aiheuta betoniin pakkasrasitusta.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat sateelta suojatut julkisivut, muut pystysuorat ulkona olevat, sateelta suojattujen rakenteiden tai vaakasuorien rakenteiden alapinnat. Uimahallit, jatkuvasti käytössä olevat saunat, suurkeittiöt, monet teollisuusrakennukset. Siltojen sateelta suojatut päällysrakenteen osat kuten kansilaatan alapinnat ja palkit, sateelta suojatut pilarit, tukimuurit ja maa- ja välituet.</p>
<p>XC4: Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen</p>	<p>Rakenteet, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2. Karbonatisoitumisen kannalta teräkset ovat paremmassa suojassa betonin sisällä, kuin edellä esitettyssä luokassa XC3.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat parvekelaatat, sateelle alttiit julkisivut sekä sokkelit. Siltojen sateelle alttiit osat kuten reunapalkit, maatumien sivupinnat, tukimuurit sekä pilarit.</p>

Betonin emäksisyyden laskun aiheuttaa betonin sementtikiven karbonatisoituminen. Karbonatisoitumista aiheuttavaa teräskorroosiota pidetään yhtenä merkittävimpänä betonirakenteiden säilyvyysongelmana. Karbonatisoitumisen ehkäiseminen ja hidastaminen ovat välttämättömiä betonirakenteiden käyttöiän pidentämiseksi. /2/

”Karbonatisoitumisella tarkoitetaan ilman hiilidioksidin reagoitua betonin kalsiumhydroksidin ja kalsiumsilikaattihydrateen kanssa. Ilmiö tapahtuu ilmatilassa kaikilla betonipinnoilla ja sen seurauksena betonin pintakerros neutraloituu.” Terästen korrosio alkaa, kun neutraloitunut betonivyöhyke etenee raudoituksen läheisyyteen, mikäli muut korroosion edellytykset täyttyvät. /2/

”Karbonatisoitumisen nopeus halkeamattomassa betonissa riippuu monista betonin laatutekijöistä, mutta ennen kaikkea betonin tiivyydestä ja kalsiumhydroksidipitoisuudesta. Tiiveys vaikuttaa siihen, kuinka helposti ilman hiilidioksidi ja rikkiyhdisteet pääsevät tunkeutumaan betoniin. Kalsiumhydroksidipitoisuudesta riippuu, kuinka paljon hiilidioksidia betoniin voi sitoutua. Ulkoisista tekijöistä merkittävin on betonin kosteustila, karbonatisoituminen on nopeimmillaan noin 50...60 % suhteellisessa kosteudessa.” /2/

Teräskorroosion kannalta raudoituksen suuntaiset halkeamat ovat raudoitusta vastaan kohtisuoria halkeamia haitallisempia. Korroosio tapahtuu tällöin laajemmalla alueella, jolloin betonipeitteen lohkeamisen riski on suurempi kuin vain paikallisesti tapahtuvassa korroosiossa. ”Karbonatisoitumisen edettyä raudoituksen pintaan korroosio voi alkaa, mikäli muut korroosion edellytykset ovat olemassa. Vähäinen raudoituksen ruostuminen (korroosiosyvyys luokkaa 100 µm) on hyväksyttävissä käyttöään puitteissa.” /2/

2.3 XD- ja XS-luokat: Kloridien aiheuttama korroosio

Betoniteräket ovat pitkään suojassa korroosiolta betonin emäksisyydestä johtuen. Vasta kun ilman hiilidioksidi veden ja hapen läsnä ollessa neutraloi betonin emäksisen ympäristön terästen ympäriltä (karbonatisoituminen), korroosion alkaminen on mahdollista. Edellä mainittuun ilmiöön poikkeuksen tekevät kloridit, sillä kloridien läsnä ollessa teräskorroosio saattaa alkaa myös silloin, kun terästen ympärillä on vielä emäksinen ympäristö. /2, 3/

Kloridien tunkeutuminen betonirakenteisiin on useissa tapauksissa teräsbetonirakenteiden käyttöikää rajoittava tekijä. Betoniterästen korroosio aiheuttaa paitsi terästen poikkipinta-alan pienenemistä, myös betonipeitteen lohkeamista terästen ympärillä. Tämä johtuu korroosiotuotteiden suuresta tilavuudesta alkuperäisen raudan tilavuuteen verrattuna. /2, 3/

Yleensä betonipeitteen lohkeaminen tarkoittaa sitä, että rakenteen käyttöikä katsotaan päättyneeksi. Kloridien aiheuttamaa korroosiota voidaan vähentää betonipeitteen paksumalla kasvattamalla ja tekemällä betonista mahdollisimman tiivistä, sekä soveltamalla tiukempia halkeamaleveysvaatimuksia kuin XC-luokissa. Klorideja

betoniin joutuu paitsi merivedestä (XS-luokat) myös muista lähteistä (XD-luokat), esimerkiksi kloridia sisältävistä jäänsulatusaineista (Taulukko 2). /2, 3/

Taulukko 2. XD- ja XS-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/

Rasitusluokka, määritelmä	Tyypilliset rakenteet
XD1: Kohtalaisen kostea ympäristö, kloridi muualta kuin merivedestä	Rakenteet, joissa betonia rasittavat ilmastovirran mukana tulevat kloridipitoiset aineet. Tyypillisiä rakenteita ovat meluseinät tien vieressä tai uimahallien sisätilat.
XD2: Kostea, harvoin kuiva, kloridi muualta kuin merivedestä	Rakenteet, jotka ovat suorassa kosketuksessa klorideja sisältävän nesteen kanssa. Rakenne, jota rasittaa klorideja sisältävät teollisuusvedet tai uima-altaat. Tyypillisiä rakenteita ovat pysäköintitasot ja lämmitetyt autotallit.
XD3: Kostea ja kuiva vaihtelevat, kloridi muualta kuin merivedestä	Suolaroiskeille alttiit rakenteet, jotka ovat osan aikaa märkänä, mutta pääsevät välillä kuivumaan. Tyypillisiä rakenteita ovat siltojen tiesuoloille alttiit osat kuten reunapalkit, siirtymälaatat, betonikaiteet, suolasumulle alttiit siltapilarit sekä väli- ja maatuet.
XS1: Betonia rasittavat tuulen mukana merestä tulevat kloridit, ei suoraa kosketusta veteen	Rakenteet avomerren rannalla. Maasto-olosuhteista riippuen maksimietäisyys merestä voi olla 200m. Mikäli rakenteen ja merialueen välillä on esteitä, voi tätä etäisyyttä lähempänäkin oleva rakenne olla kuulumatta kyseessä olevaan rasitusluokkaan. Tyypillisiä rakenteita ovat avomerren äärellä sijaitsevat satamarakennukset ja muut rakenteet.
XS2: Meriveden alla	Rakenteet ovat kloridipitoisen veden kanssa jatkuvassa kosketuksissa. Tyypillisiä rakenteita ovat siltojen ja laitureiden merivedenalaiset osat.
XS3: Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä	Merirakenteiden ja siltojen meriveden vaihtelu- ja roiske-vaikutuksille alttiit osat, kuten välituet.

2.4 XF-luokka: Jäätymis-sulamisrasitus

Betonin vaurioituminen pakkasrasituksessa ilmenee lujuuden menetyksenä, tilavuuden kasvuna, läpäisevyyden lisääntymisenä sekä näkyvinä halkeamina ja lohkeiluna. Vaurioitumisprosessi ilmenee rasituskokeissa taivutuslujuuden menetyksenä, kimmomoduulin pienenemisenä, koekappaleen paisumisena tai pinnan rapautumisena. Betonin pakkasrapautuminen on lähes aina betonin sisäisten jännitysten ylittymisestä johtuvaa. ”Pakkas-suolarapautumisessa myös kemialliset tekijät voivat olla mukana. Pakkasrapautumisen aiheuttaa pääasiallisesti kapillaarihuokosissa jäätyvä vesi.” /2/

”Suolat lisäävät betonirakenteisiin kohdistuvia pakkasrasituksia. Tämä johtuu betonin vedelläkyllästymisasteen kasvusta ja suolojen kyvystä alentaa betonin kriittistä kyllästysastetta. Vedelläkyllästymisasteen kasvu johtuu siitä, että suolojen läsnä ollessa kosteuden imeytymistä betoniin voi tapahtua alhaisissa lämpötiloissa rakenteen pinnalta ja ilmasta lähes jatkuvasti.” /2/

Kriittinen kyllästysaste alenee, koska suolat kasvattavat jäätymispainetta ja heikentävät betonin kykyä vastustaa näitä paineita. Suolat pitävät betonin sulana, jolloin sen mekaaniset ominaisuudet, jotka ovat parhaimmillaan jäätyneessä tilassa, heikkenevät ja betonin vastustuskyky rapautumista ja halkeilemista vastaan heikkenee. /2/

Betonin huokoisuus on yksi tärkeimmistä betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttavista tekijöistä. Betonin huokostilavuuden sisältämästä vedestä suurin osa kykenee jäätymään. Jos ilmahuokosia on riittävästi ja tarpeeksi lähellä toisiaan, pakkasvaurioita ei pääse syntymään. /2/

”Tehokkain tapa vaikuttaa betonin pakkasenkestävyyteen on betonin huokostaminen (suojahuokoset). Huokostavia lisäaineita käyttämällä sementtikiveen saadaan syntymään läpimitaltaan noin 0,01...0,5mm olevia huokosia, jotka eivät täyty vedellä kapillaarisen imun vaikutuksesta. Kapillaarihuokosissa olevan veden jäätyessä paine pääsee purkautumaan näihin täyttymättömiin ilmahuokostiloihin (hydraulisen paineen teoria) tai jääki-teet voivat kasvaa painetta aiheuttamatta näissä ilmahuokosissa (jääkiteen kasvun teoria).” /2/

Suojahuokosten tavoitearvot riippuvat siitä, miten hyvin muu huokosrakenne säätelee pakkasenkestävyyttä. Jos kapillaarihuokoisuus on alhaisella vesi-sementtisuhteella saatu vähäiseksi, jäätyvän veden määrä on myös vähäinen ja näin ollen alhaisempi suojahuokostuksen määrä on riittävä. /2/

F-luku kuvaa betonin kykyä koostumuksensa perusteella vastustaa pakkasrasitusta (Taulukko 3). F-luku riippuu betonin vesi-sementtisuhteesta ja ilmamäärästä. Betonin valmistaja voi käyttää erilaisia yhdistelmiä, joilla vaadittu F-luku voidaan saavuttaa. /2/

Taulukko 3. XF-rasitusluokat, niiden määritelmät sekä yleisimmät rakenteet. /2/

Rasitusluokka, määritelmä	Tyypilliset rakenteet
XF1: Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Jäätymiselle alttiit rakenteet, jotka kastuttuaan myös kuivuvat kohtuullisen nopeasti. Tällaisia ovat tyypillisesti sateelle alttiit pystysuorat betonipinnat. Tyypillisiä rakenteita ovat julkisivut, sokkelit, suolaamattomien teiden siltojen osat kuten kansilaatta, palkit, maa- ja välituet.
XF2: Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Rakenteet, joiden kastuminen ja kuivuminen on samanlaista kuin rasitusluokassa XF1, mutta ne ovat lisäksi alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille. Tyypillisiä rakenteita ovat meluseinät ja sokkelit tien vieressä sekä suolattavien teiden siltojen osat kuten päällysrakenteen palkit ja kansilaatat, maa- ja välituet.
XF3: Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Rakenteet, joiden vedelläkyllästyminen saattaa jäätyessään olla korkea. Tällaisia ovat esimerkiksi sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat. Tyypillisiä rakenteita ovat parvekkeet, siltapilarit ja muut rakenteet sisävesien vesirajassa, patorakenteet, makean veden altaat. Suolaamattomien teiden siltojen osat kuten reunapalkit, siirtymälaatat, pilarimaiset välituet, rengaskehäsiltojen peruslaatat ja vesistösiltojen suojaamattomat vedenvaihtelualueen rakenteet.

XF4: Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet

Kosteusolosuhteiltaan XF3:sta vastaavat rakenteet, mutta lisäksi betonia rasittavat suorat jäänsulatusaineroiskeet. Tyypillisiä rakenteita ovat jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat ja jäänsulatusaineille alttiit teiden siltojen kannet.

2.5 XA-luokka: Kemiallinen rasitus

Betonia vaurioittavat yhdisteet liuottavat sementin hydrataatiotuotteita, heikentävät hydrataatiotuotteiden ominaisuuksia ionivaihdon kautta tai paisuttavat hydrataatiotuotteita ja siten vaurioittavat rakennetta. Tyypillisimmät betonille vahingolliset aineet on luokiteltu pitoisuutensa perusteella. /2/

- **Sulfaatti:** Sulfaatti reagoi sementin sisältämän trikalsiumalumiinaatin ja sen hydrataatiotuotteiden kanssa muodostaen ettringiittiä, joka laajentuu ja paisuttaa betonia. Kovettunut betoni vaurioituu paisumisesta. Ettringiitti täyttää huokostetun betonin suojahuokosia heikentäen betonin pakkaskestävyyttä. Sulfaatinkestävän sideaineen käyttö betonissa on varmin tapa välttää vaurioilta. /2/
- **Happo:** Hapot liuottavat sementtiä sekä sementin hydrataatiossa syntyviä yhdisteitä. Myös kiviaineksena mahdollisesti käytetty kalkkikivi liukenee happoihin. Luokitus tehdään liuoksen happamuusasteen eli pH:n mukaan. Liuos on sitä happamampaa ja samalla aggressiivisempaa, mitä alhaisempi pH on. /2/
- **Hiilidioksidi:** Aggressiivisen CO₂ vahingollisuus perustuu hiilidioksidin vesiliuoksen kykyyn liuottaa sementin kalsiumyhdisteitä. Samalla tavalla toimiva, mutta yleisimmin jätevesissä esiintyvä yhdiste on ammoniumioni. /2/

”Suomessa esiintyy happamia sulfaattimaita, jotka ovat potentiaalisesti aggressiivisia betonirakenteille. Happamilla sulfaattimaille tarkoitetaan maaperässä luonnollisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä (sulfaattisedimenttejä), joista vapautuu hapettumisen seurauksena happamuutta sekä metalleja maaperään ja vesistöihin.” Happamat sulfaattimaat ovat yleensä savea, hiesua tai hienoa hietaa ja usein myös liejupitoisia. /2/

Happamia sulfaattimaita esiintyy pääsääntöisesti Suomen rannikkoalueilla Pohjois-Suomessa noin 100 metrin ja Etelä-Suomessa noin 40 metrin korkeuskäyrän alapuolella. Tyypillisesti nämä vanhan merenpohjan kerrostumat ovat nykyisin viljelyskäytössä tai turpeen alla soiden pohjalla. Rikkipitoisia sedimenttejä kerrostuu nykypäivänä myös rannikon merenlahdissa ja jokisuistoissa, joista ne tulevaisuudessa kohoavat kuivalle maalle ja kehittyvät happamiksi sulfaattimaiksi. Hapettomassa tilassa pohjavedenpinnan alapuolella sulfidisedimentit eivät aiheuta haittaa ympäristölleen. Näitä sedimenttejä kutsutaan potentiaalisiksi happamiksi sulfaattimaiksi (PHS). /2/

Maankohoamisen ja maankäytön kuten ojituksen ja maiden kuivatuksen myötä pohjavedenpinta laskee ja kyseiset kerrokset altistuvat hapettumiselle ja sitä kautta myös happamoitumiselle. Tällöin niistä tulee todellisia happamia sulfaattimaita (THS). Hapettumisen seurauksena sulfidisedimentin väri muuttuu mustasta tai harmaasta rusehtavaksi tai vaaleamman harmaaksi. Sulfaattipitoisella alueella on huomattava, että sama kemiallinen prosessi joka nostaa veden sulfaattipitoisuutta (sulfidien hapettuminen sulfaateiksi), laskee veden pH-arvoa. /2/

Mikäli on mahdollista, että rakennuspaikalla esiintyy happamia sulfaattimaita, on maaperä tutkittava tarkemmin (Taulukko 4). Happamat sulfaattipitoiset maat ovat erityisen riskialttiita paaluille, perustuksille ja muille vastaaville rakenteille, joissa maaperä on suoraan kontaktissa betonirakenteen kanssa. ”Ongelmia esiintyy lähinnä vain pohjavedenpinnan yläpuolisissa rakenteissa.” /2/

Taulukko 4. Luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttaman kemiallisen rasisituksen rasisitusluokkien raja-arvot. /2/

Kemiallinen ominaisuus	Koemenetelmä	XA1	XA2	XA3
Pohjavesi				
SO ₄ ²⁻ mg/l	SFS-EN 196-2	≥ 200 ja ≤ 600	> 600 ja ≤ 3000	> 3000 ja ≤ 6000

pH	ISO 4316	$\leq 6,5$ ja $\geq 5,5$	$< 5,5$ ja $\geq 4,5$	$< 4,5$ ja $\geq 4,0$
CO ₂ mg/l ag-gressiivinen	SFS-EN 13577	≥ 15 ja ≤ 40	> 40 ja ≤ 100	> 100 kyl-lästymiseen asti
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 ja ≤ 30	> 30 ja ≤ 60	> 60 ja ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 ja ≤ 1000	> 1000 ja ≤ 3000	> 3000 kyl-lästymiseen asti
Maaperä				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^(a) kokonaismäärä	SFS-EN 196-2 ^(b)	≥ 2000 ja ≤ 3000 ^(c)	> 3000 ^(c) ≤ 12000	> 12000 ja ≤ 24000
Happamuus Baumann Gul- lyn mukaisesti ml/kg	PrEN 16502	> 200	Ei esiinny käytännössä	
<p>(a) Savimaat joiden läpäisevyys on pienempi kuin 10-5 m/s voidaan luokitella alem-paan luokkaan.</p> <p>(b) Testausmenetelmäperiaate on uuttaa SO₄²⁻- suolahapolla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vesiuuttoa, jos betonin käyttöpaikalla on siitä kokemusta.</p> <p>(c) Raja-arvo 3000 mg/kg lasketaan arvoon 2000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivumi-nen ja kastuminen, tai kapillaarinen kastuminen saattavat aiheuttaa betonin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin.</p>				

Paalujen yleisin rasitusluokka on XC2, XA1. Pakkasrasitus paalujen osalta ei ole merkittävä, eikä sitä normaalisti tarvitse ottaa huomioon. Myöskään jään sulatus-aineet eivät yleensä aiheuta paaluille rasituksia. Mikäli on mahdollista, että maaperä tai pohjavesi sisältää sulfaatteja tai klorideja, on niiden pitoisuudet selvitettävä (Taulukko 5). /2/

Taulukko 5. Paalujen rasitusluokkayhdistelmä pohjaveden sulfaatti- ja/tai kloridipitoisuuden mukaan. /2/

Pohjaveden sulfaattipitoisuus	Pohjaveden kloridipitoisuus	
	Kloridipitoisuus ≤ 1000 mg/l	Kloridipitoisuus > 1000 mg/l
Sulfaattipitoisuus ≤ 200 mg/l	XC2	XC2; XS2
Sulfaattipitoisuus 200...600 mg/l	XC2; XA1	XC2; XS2; XA1
Sulfaattipitoisuus > 600 mg/l, mutta korkeintaan 3000 mg/l	XC2; XA2	XC2; XS2; XA2

2.6 Rasitusluokkayhdistelmät

Rasitusluokat valitaan betonin käyttöpaikalla voimassa olevien sääntöjen ja ympäristöolosuhteiden mukaisesti. Rasitusluokat on suunniteltu vauriotapauksittain ja siten kukin rasitustapaus käsitellään erikseen. Tämä tarkoittaa sitä, että tarvitaan kaksi tai jopa kolme erillistä rasitusluokkaa, eli puhutaan rasitusluokkayhdistelmistä (Taulukko 6). Käytännössä erilaisia rasitusluokkayhdistelmiä on rajallinen määrä. /2/

Taulukko 6. Normaalit rasitusluokkayhdistelmät. /2/

Rasitusluokkayhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteet kuivissa sisätiloissa.
XC1	Raudoitetut rakenteet kuivissa sisätiloissa.
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy kosteana.
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen).

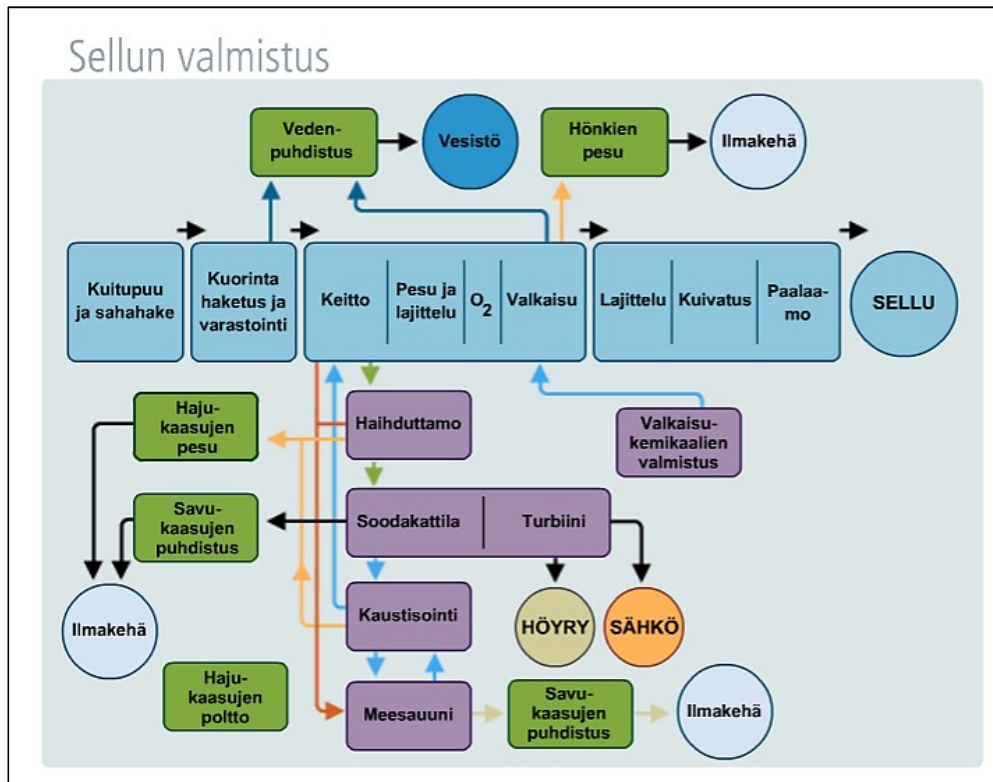
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus.
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus.
XC3,4; XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus.
XC4, XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus.
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa.
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus.
XC4; XF2; XD1	
XC3,4; XF2; XD1	
XC3; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus.
XC4; XF4; XD2	
XC3,4; XF4; XD2	
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne.
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne.
Erikoistapauksia	
XC1; XF3	Vesialtaan rakenteet vedenpinnan alapuolella.
XC2; XD2	Uima-altaiden rakenteet.
XC3; XF1; XD1	Kloridirasitus, mutta vain hyvin lievä pakkasrasitus (tunnelit ja laiturit).
XC2; XF3; XD2	Ulkona olevan uima-altaan rakenteet.

Huom. Kemiallinen rasitus (XA) voi liittyä useisiin rasitusluokkayhdistelmiin, XA-tapauksia ei ole listattu taulukkoon.

3 SELLUTEHDAS

Sellutehdas on tuotantolaitos, jonka lopputuotetta eli sellua käytetään paperi- ja kartonkitehtaiden raaka-aineena. Sellutehtaaseen kuuluu kaksi erillistä päälinjaa: kuitu- ja talteenottolinja, sekä erillinen jätevesien käsittely (Kuva 1). /4, 5/

Kuva 1. Sellun valmistuskaavio. /4/



Sellun valmistuksessa puun kuitujen sideaine eli ligniini erotetaan kemikaalien ja lämmön avulla. Kaksi sellun päätyyppiä ovat lyhytkuituinen lehtipuusellu, sekä pitkäkuituinen havupuusellu. Havupuista, eli männystä ja kuusesta valmistettava sellu soveltuu kestävyttä vaativiin käyttökohteisiin. Havupuusellua käytetään muun muassa aikakauslehti-, pehmo- ja hienopapereissa. Lehtipuista, muun muassa koivusta ja eukalyptuksesta valmistettu sellu on kestävä, ja se mahdollistaa hyvän rakenteen sekä hyvät pintaominaisuudet. Puun menekki sellutonnin kohden riippuu puun tyypistä. Yleisesti 1000 kg sellun valmistukseen tarvitaan 2000 kg täysin kuivaa puuta. /5–9/

3.1 Kuitulinja

Kuitulinjalla puu jalostetaan selluksi. Kuitulinja koostuu puunkäsittelystä, keittämöstä, ruskean massan puhdistuksesta, happidelignifikaatiosta, valkaisuista, kiuvauksesta, paalauksesta sekä varastoinnista. /5/

3.1.1 Puunkäsittely

Puu tuodaan puunkäsittelyyn tukkeina auto- tai rautatiekuljetuksella. Hitaasti pyörivissä kuorimarummuissa irrotetaan puun kuori. Kuori poltetaan talteenottolinjalta, ja siitä saatu energia käytetään tehtaan omissa prosesseissa, tai myydään eteenpäin. Kuorittu puu haketetaan hakuissa. Hakuissa puusta leikataan koneellisesti pieniä tasakokoisia kappaleita, hakelastuja. Hake seulotaan, ja hyväksytty puuainees voidaan johtaa eteenpäin prosessissa. Liian suuret tai paksut hakelastut kypsyvät keitossa epätasaisesti, ja niiden sisäosat jäävät keittymättä. Seulottu puuainees lajitellaan puulajeittain ja varastoidaan silloihin tai avokasoihin. Varastosta hake siirretään kuljettimilla keittämöön. /4, 5/

3.1.2 Keittämö

Puun pääkomponentteja ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. Selluloosakuitujen erottamiseksi puun perusmassasta täytyy poistaa ligniini, joka pitää ne yhdessä. Ligniini poistetaan kemiallisesti keittämällä puuhaketta sellukeittimessä korkeassa lämpötilassa natriumhydroksidi-sulfidiliuoksessa eli valkolipeässä, jolloin hake kuituuntuu ja muuttuu selluksi. /4–6/

Keiton jälkeen sellumassa sisältää aina jonkin verran ei-toivottua kiinteää materiaalia. Osa lastuista ei välttämättä ole liennut kunnolla, ja osa kuitumateriaalista ei ole täysin yksittäisten kuitujen muodossa. Epäpuhtauksilla on negatiivinen vaikutus sellun laatuun ja ne voivat vahingoittaa prosesseissa käytettävää välineistöä. /6, 10/

3.1.3 Pesu

Keitetty sellumassa etenee kuitulinjalla ruskean massan puhdistukseen. Puhdistukseen kuuluu massan pesu, oksien erottelu ja massan lajittelu. Pesun tarkoituk-

sena on erottaa kuituvirrasta keiton aikana liuennut puuaineseos sekä keittokemikaalit, eli niin sanottu jäteliemi. Pesua tapahtuu tuotantoprosessin useissa eri vaiheissa. Pesu on välttämätöntä uudelleenkäytettävien kemikaalien palauttamisessa, sekä liuennun ligniinin hyödyntämisessä polttoaineeksi. Pesu myös jäädyttää sellumassaa, poistaa epäpuhtauksia, sekä vähentää prosessissa tarvittavien kemikaalien kulutusta. Riittävän pesutuloksen saavuttaminen edellyttää yleensä vähintään neljää pesuvaihetta ennen happidelignifiointia, ja vähintään kahta pesuvaihetta happidelignifioinnin jälkeen. /5–6/

3.1.4 Lajittamo

Kiinteä materiaali erotellaan sellumassasta lajittelemalla. Samanlaisia ja erityyppisiä lajittimia kytketään järjestelmiksi, lajittamoiksi. Lajittelu tehdään yleensä kahdessa prosessivaiheessa: ruskealle massalle ennen valkaisua, sekä valkaistulle massalle jälkivalkaisun jälkeen. Sellun lajitteluprosessin tarkoituksena on erottaa epäpuhtaudet vähäisellä kuituhäviöllä ja hyväksyttävällä hintatasolla. /5–6, 10/

”Lajittamon laitteita rakennetaan pääasiassa seuraavilla periaatteilla:

1. Sihdissä kuidut läpäisevät sihtilevyn, johon epäpuhtaudet jäävät. Sihtilevyt rakennetaan joko reiällisiksi tai raollisiksi.
2. Pyörrepuhdistuksessa keskipakovoiman ja virtausvastusten avulla erotetaan hiukkaset massapyörteistä. Erotetut hiukkaset ovat tässä tapauksessa painavampia tai erimuotoisia kuin kuidut. Myös kevyempiä epäpuhtauksia, kuten muovihiukkasia voidaan erottaa pyörrepuhdistustekniikalla.” /5/

Lajittelua voidaan käyttää sellun erotteluun, jossa se erotellaan ominaisuuksien mukaan, esimerkiksi kuitujen pituuden tai solun seinämän paksuuden mukaan. Epäpuhtauksien erottelu jakaa sellumassan kahteen osaan, hyväksytyyn ja hylättyyn. Hyväksytty massa etenee prosessissa happivaiheeseen, ja hylätty massa siirretään epäpuhtauksien käsittelyyn, jossa se prosessoidaan käyttökelpoiseksi. /5–6, 10/

3.1.5 Happidelignifiointi

Massa on keiton ja ensimmäisten pesuvaiheiden jälkeen ruskeaa. Ruskeasta massasta poistetaan värjäävää jäännösligniiniä happikäsittelyllä, eli happidelignifioinnilla. Happikäsittelyssä sellumassaan jäänyttä ligniiniä poistetaan hapella ja emäksellä. Toivottuja reaktiota ovat ligniinin hapettuminen ja hajoaminen osiin jotka liukenevat emäkseen, sekä ligniinin värillisten osien tuhoutuminen ja epäpuhtauksien, kuten hartsin poistaminen. Ligniinin poisto hapella on hellävaraisempi tapa vähentää massan ligniinipitoisuutta, kuin pidennetty keittoaika. Se myös vähentää valkaisulaitoksen kemikaalien käyttöä sekä jätevettä. Happikäsittely on sekä ympäristö- että taloudellinen investointi. /4, 11/

3.1.6 Valkaisu

Valkaisun tarkoituksena on sellun vaaleuden ja puhtauden parantaminen värillisiä aineita poistamalla. Merkittävin väriä aiheuttava aine on jäännösligniini. Valkaisutavoitteena on poistaa ligniini mahdollisimman taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti. Vaaleustaso, johon sellu valkaistaan, riippuu käyttötarkoituksesta. Valkaisu on sellutehtaan merkittävin vedenkuluttaja ja jätevesipäästöjen tuottaja. /4–5, 12–15/

Valkaisu tehdään yleensä 3–5 vaiheessa. Kukin valkaisuvaihe tapahtuu omassa reaktiotornissaan, ja vaiheiden välinen pesu tapahtuu erillisissä pesureissa tornien ulkopuolella. Valkaisuun käytetään happikemikaaleja kuten happea, otsonia, vety- ja klooridioksidia sekä natriumhydroksidia eli lipeää. Jokaisessa vaiheessa käytetään yhtä tai kahta kemikaalia. /4–5, 12–15/

Ensimmäinen vaihe D_A eli niin sanottu kloorausvaihe on enemmän ligniinin poistoa kuin sellumassan valkaisua. Nimi juontuu ajalta, jolloin tässä vaiheessa käytettiin kaasumaista klooria. Kloorikaasun käyttö massan valkaisussa lopetettiin Suomessa vuonna 1993. Nykyään vaiheessa yleisimmin käytetty valkaisukemikaali on klooridioksidi. Myöhemmät vaiheet D_1 ja D_2 ovat valkaisuvaiheita. Pesu tai uuttaminen erottavat vaiheet. D_A -tason tarkoituksena on laskea sellun ligniini-

pitoisuutta ensimmäisen valkaisuun jälkeen. Sellumassan ligniinipitoisuus vaikuttaa tarvittavan klooridioksidin määrään. /5, 12–15/

Alkaliuuttovaihe eli emäksinen taso E on vaiheen D_A jälkeen. Riippuen käytettävistä hapettimista, vaihetta kutsutaan emäksiseksi vaiheeksi E, EO tai EOP. E-vaiheen tarkoituksena on neutraloida hajotetut, jäljelle jääneet ligniinihiukkaset sekä muut reaktiotuotteet, koska suurin osa D_A -vaiheen reaktiotuotteista on yhä mukana sellussa. Alkaliuutto tehdään poikkeuksetta natriumhydroksidillä eli valkolipeällä. Noin 90 % ligniinistä poistuu pesussa emäksisen vaiheen jälkeen neutralisaatiosta johtuen. /12–15/

Otsoni on tehokas ligniiniä poistava ja valkaiseva kemikaali. Otsonilla on voimakas ligniiniä poistava vaikutus happidelignifikaation jälkeen, mutta emäksisen vaiheen ja peroksidivaiheiden välissä otsoni on aktivoitu valkaisuprosesiin. Nykyään otsonia käytetään myös ensimmäisessä valkaisu vaiheessa D_A sen yhteisvaikutuksen vuoksi. /12–15/

Peroksidivaihe P parantaa huomattavasti sellun kirkkautta. Emäksinen vety ei ole tehokasta ligniinin poistossa, mutta sillä on ominaisuus, joka muilta sellua valkaisevilta kemikaaleilta puuttuu: se reagoi ligniinin värillisten osien kanssa. Peroksidin reaktiot jäännösligniinin kanssa ovat hitaita, ja vaiheessa tarvitaankin korkeita lämpötiloja ja pitkiä viipymäaikoja. /5, 12–15/

Lopullinen valkaisu tehdään kahdessa vaiheessa, D_1 ja D_2 . Noin kaksi kolmasosaa tarvittavasta kloorioksidista lisätään ensimmäiseen vaiheeseen, ja yksi kolmasosa viimeiseen vaiheeseen. Suurin ero D_1 -ja D_2 -vaiheilla on hieman korkeampi lämpötila ja pidempi vaikutusaika vaiheessa D_2 . /12–15/

3.1.7 Kuivatus

Valkaisuun jälkeen massa etenee kuivaamoon. Pesty ja valkaistu sellu muistuttaa pehmeää valkoista pumpulia. Kuivatuksessa sellumassasta muodostuu kuljetukseen ja varastointiin sopiva tuote. /4–5, 16/

Sellu kuivataan kuivatuskoneella. Sellumassa ruiskutetaan kuivauskoneen viiralle, jossa massa rainataan, eli siitä muodostetaan kuituverkosto. Puristinosalla sellusta poistetaan vettä rainasta puristamalla. Puristusvaiheita on useita peräkkäisiä. Loppu vesi haihdutetaan kuivauskaapeissa, jonka jälkeen tuotteen kuiva-ainepitoisuus on 90 %. Kuivatusosassa sellumassasta haihdutetaan vettä veden kiehumispistettä alemmissa lämpötiloissa. On huomattavasti taloudellisempaa poistaa suurin osa vedestä ensin märässä päässä rainaamalla ja puristamalla, ja vasta sen jälkeen haihduttaa loput vedestä kuivatusosassa. /4–5, 16/

3.1.8 Paalaus

Sellu voidaan toimittaa paperitehtaalte kuljettimella märkänä puristemassana putkia pitkin, jos paperitehdas on sellutehtaan läheisyydessä. Muutoin sellu toimitetaan kuivattuna. Kuivattu sellu leikataan halutun kokoiseksi arkeiksi ja paalataan. Paalauslinjalla arkkipinot punnitaan, minkä jälkeen ne syötetään puristimeen. Puristimen jälkeen paalit menevät käärintälaitteeseen, sidontaan ja merkkaukseen. Valmiit paalit kuljetetaan joko suoraan asiakkaalle tai paalivarastoon. /4, 16/

3.2 Talteenottolinja

Sellun tuotannossa käytettävä kemiallinen liuos vaihtelee kolmessa muodossa. Prosessi alkaa valkolipeäliuoksena, natriumhydroksidi-sulfidiliuoksena jota käytetään keittoprosessissa. Kun valkolipeä on reagoinut puun yhdisteiden kanssa keittämässä, se muuttuu mustalipeäksi. Tämä johtuu ligniinin liukenemisestä lipeään, muuttaen sen tummemman väriseksi. Soodakattilassa poltetun mustalipeän sulaneet keittokemikaalit liuotetaan viherlipeäksi. Kun viherlipeään lisätään poltettua kalkkia, seoksesta muodostuu uudelleen valkolipeää. /6/

Talteenottolinjan kaksi päätehtävää ovat palauttaa keittoprosessissa käytetyt kemikaalit, sekä valjastaa mustalipeän orgaanisen materiaalin lämpöenergia käyttöön. Kun mustalipeä palaa talteenottolinjan soodakattilassa, korkeapaineinen höyry johdetaan turbiineihin tuottamaan sähköä. Höyryä käytetään myös lämmönlähteenä tehtaan muissa prosesseissa. /6/

3.2.1 Haihduttamo

Haihduttamo on tärkeä osa tehtaan energiantuotantoa. Mustalipeässä oleva vesi haihdutetaan, jotta väkevöity lipeä voidaan polttaa soodakattilassa. Haihduttamisen kolme päävaihetta ovat lämmönsiirto höyrystä lipeään, lipeän kiehuminen (veden muuttuminen höyryksi) sekä lipeän ja höyryn erotus toisistaan. Haihduttaminen minimoi vedenkulutuksen tehtaassa tuottamalla uudelleenkäytettävää lauhdetta, ja ottaa talteen keittämisen sivutuotteita kuten metanolia, tärpättiä sekä saippuaa. /6/

3.2.2 Soodakattila ja turbiini

Soodakattila on kattilalaitos, jonka polttoaineena käytetään haihduttamalla väkevöityä mustalipeää. Soodakattila polttaa mustalipeän sisältämän orgaanisen materiaalin, sekä tuottaa syntyneellä lämmöllä korkeapaineista höyryä. Mustalipeän sisältämät keittokemikaalit sulavat soodakattilassa ja ne otetaan talteen uudelleenkäyttöä varten. Kattilasta poistuva kemikaalisula hyödynnetään keittokemikaalien uudelleenmuodostamisessa. /4/

Soodakattilassa kehitetty korkeapaineinen höyry johdetaan turbiiniin, joka pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Mustalipeän sisältämän liuennon puuaineksen poltossa syntyy energiaa enemmän kuin tehdas tarvitsee. Ylijäävä energia myydään lämpönä ja sähkönä. Turbiinin läpi mennyt höyry käytetään prosessin eri vaiheiden vaatimaan lämmittämiseen sekä kaukolämmön tuottamiseen. /4, 17/

3.2.3 Kaustisointi ja meesauuni

Kaustisointi uudistaa keittokemikaalit uudelleen käytettäväiksi. Soodakattilassa poltetun mustalipeän sulaneet keittokemikaalit liuotetaan viherlipeäksi. Viherlipeään lisätään poltettua kalkkia, jolloin seoksesta muodostuu uudelleen valkolipeää – keittoprosessin pääkomponenttia. /6/

Meesauunissa kaustisoinnissa syntyvästä meesasta eli kalkkilietteestä valmistetaan kalkkia. Unissa meesan lämpötila on niin korkea, että se kalsinoituu, eli muuttuu kemiallisesti kalkiksi. Meesauunilla on neljä eri vyöhykettä. Kuivaus-

vyöhykkeellä meesan mukana tullut vesi haihtuu, lämmitysvyöhykkeellä meesa lämpenee reaktiolämpötilaansa, reaktiovyöhykkeellä meesa kalsinoituu eli kalsiumkarbonaatti hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi, ja loppukäsittelyvyöhykkeellä poltettu kalkki jäädytetään ja lajitellaan. Uunin kolmen ensimmäisen vyöhykkeen käsittelyvaiheet vaativat ulkopuolelta tuotua lämpöä. Meesauunissa syntyvä kalkki käytetään uudelleen kaustisoinnissa. Meesan kalsinointiin tarvittava energia tuotetaan polttamalla maakaasua tai raskasta polttoöljyä uunissa. Meesauunia käytetään myös keitosta ja haihduttamolta tulevien hajukaasujen ja metanolin polttouunina. /4–5, 20/

3.3 Jätevesien käsittely

Vesi on keskeinen asia sellun valmistuksessa. Vettä tarvitaan muun muassa korvaamaan haihtumisessa ja erityyppisissä rejekteissä poistuvaa vettä, sekä korvaamaan kierrosta poistuvaa prosessijätevesimäärää. Veden kiertäessä prosesseissa, välttämätön vesi puhdistetaan eri tavoin tavanomaisessa käsittelylaitoksessa, mukaan lukien sakkautuminen ja hiekkasuodatus. /5–6/

Jätevedenpuhdistus on tärkeää varmistettaessa, ettei sellutehtaalla ole negatiivista vaikutusta ympäristöön. Prosessivesien puhdistaminen on olennainen osa tehtaan toimintaa. Nykyaikainen jätevedenpuhdistus on erittäin tehokasta kiintoaineiden, kuten fosforin ja typen poistamiseksi vedestä. Prosessin päätteeksi tehdään tarvittavat mittaukset, joilla varmistetaan, että vesistöön päästetty lopullinen jätevesi täyttää ympäristöstandardit. /6/

3.3.1 Jätevesien mekaaninen puhdistus

Sellutehtaan jätevedet puhdistetaan käyttämällä sekä mekaanisia että biologisia menetelmiä. Jätevesien sisältämän kiinteän aineen poistamiseksi käytetään erityyppisiä suodatin- ja selkeytinlaitteistoja. Sekoittuneet prosessivedet johdetaan esiselkeytykseen, jossa jätevedestä poistetaan mekaanisesti hiekka ja muu karkea aine. Esiselkeyttimessä jätevesi myös neutraloidaan ja viilennetään ennen biologista käsittelyä. Kirkaste virtaa esiselkeyttimeltä ylivuotona tasausaltaan tuloka-

naaliin. Jätevettä viivytetään tasausaltaassa jäteveden laadun varmistamiseksi. /5–6/

3.3.2 Aktiivilietemenetelmä

Aktivoitu lietemenetelmä on yleisimmin käytetty biologinen menetelmä teollisten jätevesien käsittelyssä. Aktiivilieteprosessin ydin on biolietteen, niin sanotun palautuslietteen sekoittaminen puhdistettavaan jäteveeseen ja hapen siirtäminen lietevesiseokseen, eli ilmastaminen ilmastusaltaassa. Ennen ilmastusallasta jäteveeseen lisätään prosessissa tarvittavia ravinteita. Menetelmä hyödyntää ilmaa sekä mikro-organismeja, jotka ovat samoja bakteereita joita on veden luonnollisessa ympäristössä. /5–6/

Ilmastusaltaasta jätevesi johdetaan jälkiselkeytykseen, jossa bioliete selkeytetään palautettavaksi takaisin tulevan jäteveden joukkoon. Ylijäämäliete tiivistetään lieteiivestimellä ja kuivataan. Puhdistettu jätevesi voidaan tarvittavien tutkimusten jälkeen johtaa takaisin vesistöön. /5–6/

4 BETONIRAKENTEIDEN RASITUKSET SELLUTEOLLI-SUUESSA

Sellutehtaan betonirakenteet ovat alttiina useille erilaisille rasiustyyypeille. Ympäristön aiheuttamat kolme päärasitustyyppiä ovat pakkasen, raudoituksen korroosio sekä kemialliset rasitukset. Rasitusten vuoksi betonin suhteutus ja valutyö täytyy suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Joissain tapauksissa betonin ominaisuudet eivät riitä suojaamaan sitä rasituksilta, esimerkiksi kemiallinen happorasitus. Silloin se täytyy suojata erillisellä pinnoitusmateriaalilla. /19/

4.1 Pakkasrasitus

Pakkasrasitusta esiintyy sellutehtaan ulkopuolisilla betonirakenteilla, kun betoniin tunkeutunut vesi jäätyy, halkaisten betonin ulkokuoren. Pakkasrasitusta voidaan ehkäistä alhaisella vesi-sementtisuhteella, jolloin vesi ei pääse tunkeutumaan betoniin yhtä helposti. Pakkaskestävän betonin on oltava huokostettua, jolloin jäätyvä vesi laajenee suojahuokosiin eikä riko betonirakennetta. Betonin suojahuokostus tehdään käyttämällä huokostavia lisäaineita. Betoniin tunkeutuvan veden suolapitoisuus lisää pakkasrasitusta, koska suola pitää betonin sulana (katso kappale 2.4). /19/

Sellutehtaan betonirakenteille ei voida määritellä tarkkaa rasitusluokkaa vastaamaan pakkasrasitusta, koska se vaihtelee kohteen ja sen ympäristön mukaan. Pakkasrasitusta ei tarvitse huomioida lainkaan, jos sellutehdas rakennetaan maahan jossa ympäristön olosuhteet ovat lämpimät. Sellutehtaan ulkopuolisten betonirakenteiden vaatimuksena on yleensä alhainen vesi-sementtisuhte sekä betonin huokostaminen. /19/

4.2 Raudoituksen korroosio

Normaalisti teräsbetonirakenteen raudointi ei pääse ruostumaan, koska betonin emäksisyys muodostaa raudoitukselle suojaavan kalvon. Betonin ikääntyessä sen emäksisyys muuttuu ja suojaava kalvo katoaa. Tällöin raudoitusterätkset pääsevät ruostumaan, koska korroosiolle välttämättömät aineet eli vesi ja happi pääsevät

tunkeutumaan terästen läheisyyteen. Muodostuva ruoste paisuttaa betonia. Tämän seurauksena betonirakenne alkaa halkeilla, ja lopulta suojabetonikerros lohkeilee irti. /19/

Karbonatisoituminen on yksi betonin ikääntymisprosesseista, joka voi aloittaa raudoituksen korroosion (katso kappale 2.2). Karbonatisoitumisella tarkoitetaan hiilidioksidin reagointia betonin kalsiumhydroksidin ja kalmiumsilikaattihydraattigeelin kanssa, jolloin muodostuu kalsiumkarbonaattia sekä vettä. Karbonatisoituneen betonin emäksisyys laskee. Emäksisyyden laskun vuoksi raudoitusteräksiä suojaava kalvo poistuu, jolloin teräs pääsee ruostumaan. Karbonatisoituminen alkaa betonirakenteen ulkokuoresta, ja etenee kohti rakenteen keskipistettä. Mitä korkeampi vesi-sementtisuhte betonilla on, sitä nopeampi on myös karbonatisoitumisprosessi. /19/

Karbonatisoituminen tapahtuu nopeammin kuivassa kuin kosteassa betonissa, koska hiilidioksidi tunkeutuu kuiviin ja tyhjiin suojahuokosiin helpommin kuin kosteisiin. Karbonatisoitumisesta aiheutuvaa raudoitusterästen korroosiota voi estää tekemällä betonista tiivistä (alhainen vesi-sementtisuhte) sekä riittävällä suojabetonikerroksella. Betonin jälkihoidolla (estetään veden liian nopea haihtuminen) saadaan tiivis ulkokuori valun jälkeen. /19/

Raudoitusteräokset voivat myös kärsiä korroosiosta, jos betonirakenteeseen tunkeutuu klorideja (katso kappale 2.3). Yleisimpiä kloridien lähteitä ovat merivesi sekä jäänsulatusaineet. Klooria on aiemmin käytetty selluteollisuudessa valkaisuun, jolloin kloridit ovat päässeet tunkeutumaan betonirakenteisiin. Ennen 1980-lukua kalsiumkloridia käytettiin talvivalussa nopeuttamaan betonin lujuuden kasvua, minkä seurauksena vanhojen rakennusten talvella valetut betonirakenteet saattavat sisältää klorideja. /19/

Pienet määrät kloridia eivät aiheuta korroosiota, ”kloridikynnyksen” täytyy ylittyä ennen kuin raudoituksen korroosio voi alkaa. Kloridikynnys ei ole vakioarvo, vaan siihen vaikuttaa muun muassa kosteus ja happopitoisuus. /19/

Sekä kloridien että karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio on suurin rasituksen aiheuttaja betonirakenteille sellutehtaassa. Joissain tapauksissa kloridit pääsevät betonirakenteeseen kloridia sisältävistä lisäaineista, joita lisätään, kun betonia valetaan. Sellutehtaan valkaisu-osioissa käytetään myös kloridiperäisiä kemikaaleja. /19/

Korroosio vaatii kosteutta, joten sitä voidaan ehkäistä pitämällä betonirakenne kuivana. Tämä on kuitenkin käytännössä vaikeaa, ja useissa tapauksissa mahdotonta toteuttaa. Ohut suojabetonikerros sekä korkea vesi-sementtisuhde sallivat nopean karbonatisoitumisen, joka johtaa raudoitusterästen korroosioon ja vaurioitumiseen. Sellutehtaassa lämpötilat ovat korkeita useissa osastoissa, jolloin korroosioprosessi on nopeampi kuin ”normaalisti”. /19/

Tärkeää sellutehtaan betonirakenteiden suunnittelussa on suojaus karbonatisoitumiselta ja kemiallisilta rasituksilta. Sellutehtaan sisäiset ympäristöolosuhteet ovat monissa osastoissa kuumia ja kosteita, jolloin suositellaan alhaista vesi-sementtisuhdetta ja riittävää suojabetonipeitettä. Betonirakenne voidaan myös suojata erillisellä pinnoitusmateriaalilla. Yksi vaihtoehto on käyttää raudoitukseen ruostumatonta terästä. /19/

4.3 Kemiallinen rasitus

Betonirakenteet ovat sellutehtaassa alttiina kemiallisille rasituksille. Yleisimpiä ovat suola- ja happorasitukset betonirakenteen ulkopinnalla, sekä emäksisen kiviaineksen reaktiot betonirakenteen sisällä. /19/

Emäksinen kiviaines voi aiheuttaa betonissa reaktion, jossa muodostuu paisuvaa geeliä. Sementti-kiviainesreaktiota voi ehkäistä käyttämällä betonissa puhdasta kiviainesta. Alueilla, joilla tiedetään olevan emäksistä kiviainesta, reaktion riskiä voidaan pienentää käyttämällä matala-emäksistä sementtiä ja/tai sekoittamalla betoniin piioksidihöyryä, joka alentaa betonin emäksisyyttä. /19/

Happorasitusta syntyy, kun happo pääsee kosketukseen betonissa olevan sementin kanssa (katso kappale 2.5). Happo reagoi sementin kanssa liuottaen sitä. Reaktion kovuus riippuu haposta ja sen väkevyydestä. Happo reagoi vähemmän betonin

kanssa, jolla on alhainen vesi-sementtisuhte. Happo syövyttää betonia oli se miten tiivistä tahansa, reaktio vaan tapahtuu hitaammin tiiviissä betonissa. Happorasituksen estämiseksi kokonaan betoni on suojattava erillisellä pinnoitemateriaalilla. /19/

Betonirakenteilla on myös suolarasituksia. Sulfaatit ovat erityisen aggressiivisia. Sulfaatit reagoivat sementin trikalsiumaluminaatin kanssa muodostaen ettringiittiä, joka sisäisen paineen kasvun johdosta rapauttaa betonin nopeasti ja aiheuttaa halkeilua. Sulfaattirasitus näkyy halkeamina betonipinnalla. Kaikki kemialliset rasitukset kiihtyvät korkeissa lämpötiloissa. /19/

Sekä suola- että happorasituksia esiintyy sellutehtaissa. Emäksisen kiviaineksen reagoiminen on harvinaisempaa. Suositukset betonirakenteille ovat samat kuin karbonatisoitumista vastaan, eli alhainen vesi-sementtisuhte sekä riittävä suojabetonipeite. Sopivat pinnoitteet betonirakenteille riippuvat käytettävistä kemikaaleista. Epoksinnoite sopii kuitenkin useimmille kemikaaleille. /19/

5 TOTEUTUS

5.1 Teoriaosuus

Teoriaosuuden toteutus aloitettiin tutustumalla betonin rasitusluokkiin. Lähdekirjallisuutta ja tietoa rasitusluokista löytyy helposti, sillä niitä on tutkittu paljon. Betonin rasitusluokkiin perehtymällä saatiin hyvä pohjatieto, jonka avulla rasitusluokkien määrittäminen sellutehtaan osastojen rakennusosiin helpottuu.

Sellutehtaan osiosta ei löytynyt yhtä perusteellista tietoa kuin betonin rasitusluokista, koska sellutehtaissa on eroavaisuuksia. Lähteitä löytyy paljon, mutta tiedot ovat joissain osastoissa ristiriitaisia. Lähteiden tietoja yhdistelemällä sekä toimeksiantajan kanssa keskustelemalla saatiin yleiskuva sellutehtaan osastoista ja niiden toiminnasta sekä rasituksista.

5.2 Leikkauskuvat

Yleensä leikkauspiirustuksissa esitetään rakennuksen osien korkeustasot, esimerkiksi kerroskorkeudet sekä tasojen korkeusasemat. Leikkauspiirustuksissa voidaan käyttää materiaaleille erilaisia merkintöjä, joilla ne erotetaan toisistaan, esimerkiksi pehmeä eristevilla merkitään aaltoilevalla viivalla. /20/ Toimeksiantajan toiveesta opinnäytetyön leikkauskuvissa esitetään vain rasitusluokat kaikille betonirakenteille. Rakennusten korkeustasoihin, rakenneosien paksuuteen tai muihin materiaaleihin ei oteta kantaa piirustuksen selkeyttämiseksi.

Toimeksiantajan aiemmista sellutehdasprojekteista löytyy hyviä esimerkkejä ja apua leikkauskuvien piirtämiseen. Pääasiassa rasitusluokat esitetään hyvin sekä piirustuksissa, että projektien teknisissä tiedoissa. Muutamassa projektissa rasitusluokkia ei oltu esitetty lainkaan, koska kyseisen maan ohjeiden mukaan niitä ei tarvitse määrittää. Projekteissa, joissa rasitusluokkia ei määritetty, oli kuitenkin mainittu, jos betonin täytyy olla sulfaatinkestävää tai vedenpitävää. Opinnäytetyön aikana tuotetut leikkauskuvat sellutehtaan osastoista on piirretty AutoCad-ohjelmistolla.

6 TULOKSET

Betonirakenteiden suunnittelussa on noudatettava kohdemaan standardeja tai kansallisia liitteitä ja määräyksiä. Suunnittelijan on tarkastettava rasitusluokat vastaamaan paikallisen ympäristön olosuhteita ja vaatimuksia. Rasitusluokan on oltava riittävä, mutta ylimitoitusta tulee välttää. /2/

6.1 Kuitulinja

Puunkäsittelyssä suurimman rasituksen betonirakenteille aiheuttavat liikenteestä ja laitteista johtuvat fyysiset rasitukset. Tämä ei kuitenkaan vaikuta suoraan betonin rasitusluokkiin, vaan betonin lujuuden valintaan. /2/ Puunkäsittelyn alueella betonirakenteilla ei ole suuria lämpötilavaihteluita, kosteus- tai kemiallisia rasituksia (Liite 1).

Sellumassan keitossa käytetään voimakkaasti emäksistä sulfidiliuosta, joka rasittaa betonirakenteita. Sulfaatit paisuttavat betonia, minkä seurauksena betoni vaurioituu. Keittämössä, pesualueella sekä lajittamossa on korkeita lämpötiloja, kosteusrasitusta sekä kemiallista rasitusta. Lämpötilavaihtelut ja korkea ilman kosteus voivat aiheuttaa betonirakenteen kutustumista ja halkeilua. Keittämön, pesualueen sekä lajittamon alueella käytetään sulfaatinkestävää betonia. Sulfaateille alttiit betonirakenteet pinnoitetaan epoksinpinnoitteella, joka estää sulfaattien tunkeutumisen betoniin. (Liite 2). /2, 5, 19/

Valkaisussa ja happidelignifioinnissa on samankaltaiset olosuhteet kuin keittämössä. (Liite 3). Korkea lämpötila sekä ilman kosteus aiheuttavat rasitusta betonirakenteille. Valkaisukemikaalit kulkevat valkaisuorneissa ja putkissa, eivätkä pääse kosketukseen betonirakenteisiin, kun onnettomuustilanteissa. Sellumassan valkaisuun käytettävät kemikaalit eivät reagoi betonin kanssa, mutta betoniteräksiin päästessään ne aiheuttavat korroosiota. Kemikaaleille alttiit betonirakenteet pinnoitetaan epoksinpinnoitteella. Kemikaalien purkupaikoilla ja säiliöalueilla käytetään maanvaraisissa laatoissa sulfaatinkestävää betonia. Laatat ovat erittäin alttiita kemiallisille rasituksille. /5, 19/

Sellutehtaan olosuhteet ovat täysin erilaiset kuivauskoneen märässä päässä eli viira- ja puristinosalla, sekä kuivauskaappien alueella. Viira-osalla kemialliset rasitukset sekä korkea lämpötila ja kosteus aiheuttavat voimakasta rasitusta betonirakenteille (Liite 4). Viira-osaa pestään usein huollon yhteydessä lipeäliuoksella, ja sen emäksisyys rasittaa betonirakenteita. Koneen ympäristöolosuhteet muuttuvat kuivalle osalle mentäessä ääripäästä toiseen, kun lämpötila nousee ja kosteus kuivuu pois (Liite 5). Kuivauskoneen viira- ja puristinosalla käytetään sulfaatinkestävää betonia, ja kemikaaleille alttiit betonirakenteet pinnoitetaan epoksinnoitella. /5, 19/

Paalauksessa suurimman rasituksen betonirakenteille aiheuttavat laitteista johtuvat fyysiset rasitukset. Tämä ei kuitenkaan vaikuta suoraan betonin rasitusluokkiin, vaan betonin lujuuden valintaan. /2/ Paalauksessa ei ole lämpötilavaihteluita, kosteus- tai kemiallisia rasituksia. Paalauksen olosuhteet ovat hyvin samanlaiset kuin puunkäsittelyssä (Liite 1).

6.2 Talteenottolinja

Haihduamossa (Liite 6) ja soodakattilassa (Liite 7) ilman kosteus on korkea. Haihduttamossa sulfaattipitoisesta mustalipeästä haihdutetaan vettä ennen kuin se poltetaan soodakattilassa. Haihduttamon (ulkopuolisen) säiliöalueen laatoissa, kanaaleissa ja kaivoissa, sekä haihduttamon metanolihuoneen alapohja- ja kanaalirakenteissa käytetään sulfaatinkestävää betonia. Kemikaaleille alttiit betonirakenteet pinnoitetaan epoksinnoitella. /19/

Soodakattilan liuotinsäiliön, tyhjennyskaivon, alapohjalaatan sekä kanaalien rakenteissa käytetään sulfaatinkestävää betonia. Soodakattilassa kehittyvä höyry johdetaan sähköä tuottavaan turbiiniin (Liite 8). Soodakattilan runkorakenteet ovat teräsrakenteisia. /5, 19/

Kaustisoinnin ja meesauunin alueilla (Liite 9) säiliöalueen laatoissa, kanaaleissa ja kaivoissa käytetään sulfaatinkestävää betonia.

6.3 Jätevesien käsittely

Jätevesien käsittelyssä kemialliset rasitukset ovat suuria jätevesien emäksisyyden ja sulfidipitoisuuden vuoksi. Sulfidit heikentävät betonin pakkasenkestävyyttä, ja paisuttavat betonia. Sulfaatinkestävän sideaineen käyttö betonin valmistuksessa on varmin tapa välttyä vaurioilta (Liite 10). Altaiden työsaumat täytyy tehdä huolellisesti vesitiiveyden varmistamiseksi. /2, 5, 19/

XA-rasitusluokat saattavat poiketa esitetystä. Altaan nesteen rasitusluokka on määritettävä testaamalla nesteen sulfaattipitoisuus. /2/

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

7.1 Tulosten tarkastelu

Tavoitteena oli laatia ohje sellutehtaan betonirakenteiden rasitusluokkien valinnasta. Opinnäytetyö on mielestäni hyvä ohje sellutehtaan betonirakenteiden suunnittelijalle, jolla ei ole aiempaa kokemusta aiheesta. Teoriaosuus on kattava, ja tuloksena saaduissa leikkauskuvissa on esitetty betonirakenteiden rasitusluokat. Opinnäytetyössä määritellään myös sellutehtaan betonirakenteiden pääasialliset rasitukset, ja keinoja joilla niitä voi ehkäistä.

7.2 Käyttökelpoisuus

Sellutehtaan osastoilla on erilaisia vaatimuksia betonirakenteille. Tehtaassa käytettävät sulfidipitoiset kemikaalit, happorasitukset, lämpötilojen vaihtelu sekä kosteusrasitukset aiheuttavat merkittävää rasitusta rakenteille. Betonirakenteita voidaan suojata yksinkertaisesti alhaisella vesi-sementtisuhteella, käyttämällä sulfaatinkestävää betonia sekä päällystämällä betonirakenne sopivalla pinnoitemateriaalilla kemikaaleille alttiilla alueilla. /2, 19/

Sellutehtaan sisällä leikkauskuvien mukaiset rasitusluokkaesimerkit ovat hyvin paikkansa pitäviä, mutta ulkopuolisten rakenteiden rasitusluokkia on mahdotonta määrittää sopimaan jokaiseen sellutehtaaseen. Suunnittelijan on käytettävä omaa ammattitaitoaan näitä rasitusluokkia valitessaan. Mahdolliset pakkasrasitukset, merivedestä aiheutuvat kloridirasitukset sekä maaperän sulfaattipitoisuus vaikuttavat tehtaan ulkopuolisten betonirakenteiden rasitusluokkiin.

7.3 Pohdinta

Pysyin määrittelemässäni aikataulussa mielestäni hyvin. Luulin että opinnäytetyö olisi valmistunut nopeammin, mutta aikataulussa oli varaa pienelle venymiselle. Eniten aikaa kului rasitusluokkien määrittämiseen sellutehtaan osastoiden betonirakenteille, sekä itse leikkauskuvien tekoon AutoCadilla. Minulla ei ole kokemusta sellutehtaiden suunnittelusta, joten rasitusluokkien määrittämisessä sain apua toimeksiantajan aiemmin toteutuneista sellutehdasprojekteista.

Pääresursseja opinnäytteen kirjoittamisessa olivat alan lähdekirjallisuus ja julkaisut, toimeksiantajan aiemmat sellutehdasprojektit sekä opinnäytetyön ohjaajat toimeksiantajan puolelta. Opinnäytetyön kirjoittamista helpotti suuresti, kun oli ammattilainen, jolta kysyä apua, kun en itse ollut varma lähteiden faktoista, tai siitä miten työssä kannattaisi edetä.

Opinnäytettä voisi tulevaisuudessa kehittää tutkimalla tarkemmin sellutehtaassa käytettävien kemikaalien ja liuosten pitoisuuksia, ja näin määrittää XA-rasitusluokat tarkemmin juuri sellutehtaan tarkoitukseen ja osastoihin. Myös kuormien vaikutukset betonirakenteisiin ja niiden lujuuteen sellutehtaassa voisi tutkia. Tehtaassa on suuria koneita ja liikennettä, jotka aiheuttavat rasitusta betonirakenteille esimerkiksi törmäyksinä sekä värähtelynä. Nämä eivät kuitenkaan vaikuta rasitusluokkien valintaan.

LÄHTEET

- /1/ Pöyry Finland Oy. Viitattu 21.3.2019. <https://www.poyry.fi/tietoa-meista/poyry-suomessa/poyryn-historia>
- /2/ Suomen Betoniyhdistys ry, 2016. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016 by 68. Helsinki. BY-Koulutus Oy.
- /3/ Suomen Betoniyhdistys ry, 2007. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu by 51. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy.
- /4/ Botnia. Moderni sellutehdas, sellutehtaan ja sen toiminnan virtuaalinen esittely. Viitattu 21.2.2019.
http://www.botnia.ru/mb/pulp_mill/main.htm?time=1113460343010
- /5/ Markku J. Seppälä, Ursula Klemetti, Veli-Antti Kortelainen, Jorma Lyytikäinen, Heikki Siitonen, Raimo Sironen. Paperimassan valmistus. 2-1. Painos. 2002. Saarijärvi. Gummerus Kirjapaino Oy.
- /6/ UPM Pulp. Kierros sellutehtaalla. Viitattu 21.1.2019.
<http://www.upmpulpmill.com/en/index.html>
- /7/ UPM Pulp. Mitä sellu on? Viitattu 21.1.2019.
<https://www.upmpulp.com/fi/vastuullinen-sellu/mita-sellu-on/>
- /8/ UPM Pulp. Lehtipuusellut. Viitattu 21.1.2019.
<https://www.upmpulp.com/fi/sellutuotteet/lehtipuusellut/>
- /9/ UPM Pulp. Havupuusellut. Viitattu 21.1.2019.
<https://www.upmpulp.com/fi/sellutuotteet/havupuusellut>
- /10/ Metso. Application report: Screening. Viitattu 22.1.2019
http://valveproducts.metso.com/documents/nees/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_04_03en.pdf
- /11/ Metso. Application report: Oxygen delignification. Viitattu 22.1.2019.
http://valveproducts.metso.com/documents/nees/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_03_10en.pdf
- /12/ Metso. Application report: Bleaching storage D₀, D₁ and D₂. Viitattu 22.1.2019.
http://valveproducts.metso.com/documents/nees/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_03_05en.pdf
- /13/ Metso. Application report: Alkaline stage E. Viitattu 21.1.2019.
http://valveproducts.metso.com/documents/nees/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_03_06en.pdf

- /14/ Metso. Application report: Peroxide stage P. Viitattu 21.1.2019.
http://valveproducts.metso.com/documents/nelles/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_03_08en.pdf
- /15/ Metso. Application report: Ozone stage Z. Viitattu 21.1.2019.
http://valveproducts.metso.com/documents/nelles/ApplicationReports/2611_Pulp/2611_03_09en.pdf
- /16/ UPM Pulp. Kuinka sellua valmistetaan? Viitattu 22.2.2019
<https://www.upmpulp.com/fi/vastuullinen-sellu/kuinka-sellua-valmistetaan/>
- /17/ Soodakattila ja sen toiminta. Viitattu 5.3.2019.
<http://askohuttunen.blogspot.com/2016/03/soodakattila-ja-sen-toiminta.html>
- /18/ Valkolipeän valmistus. Viitattu 5.3.2019.
<http://askohuttunen.blogspot.com/2016/03/valkolipean-valmistus.html>
- /19/ SSG 6910E. Damage to concrete in the paper and pulp industry and sawmills.
2. PAINOS. Sundswall, Ruotsi. SSG Standard Solution Group AB. 2008. 15 s.
- /20/ Rakennuspiirustukset. Viitattu 30.4.2019.
<https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11940/rakennuspiirustukset.htm>

LIITE 1

PUUNKÄSITTELY

Runkorakenteet sisällä, sokkeli- ja sandwich-elementtien sisäkuoret
XC3

Runkorakenteet ulkona, sandwich-elementtien ulkokuoret
XC4, XF1*

Sokkeli-elementtien ulkokuoret
XC4, XD1*, XF2*

Tasot ulkona
XC4, XF4*

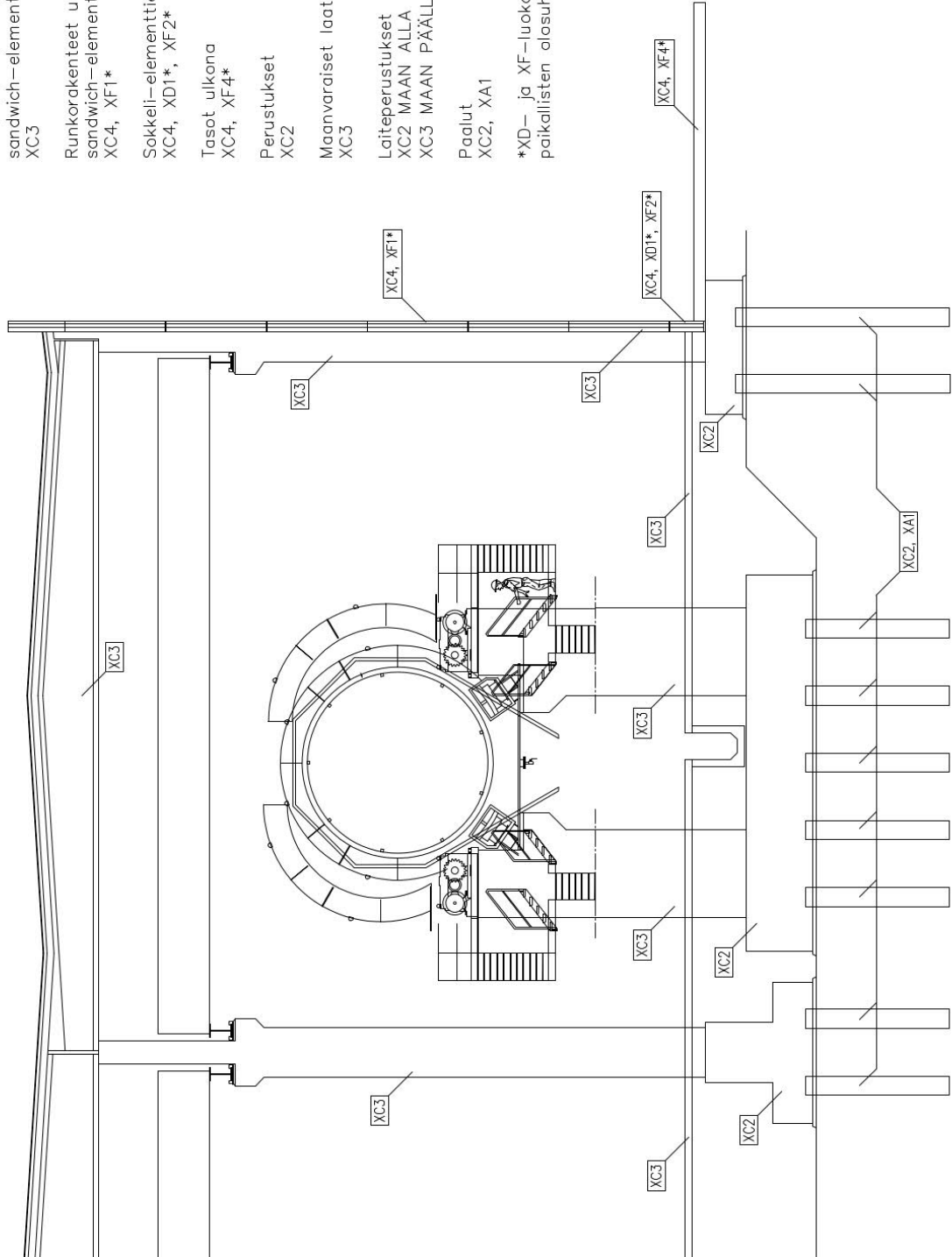
Perustukset
XC2

Maanvaraiset laatat
XC3

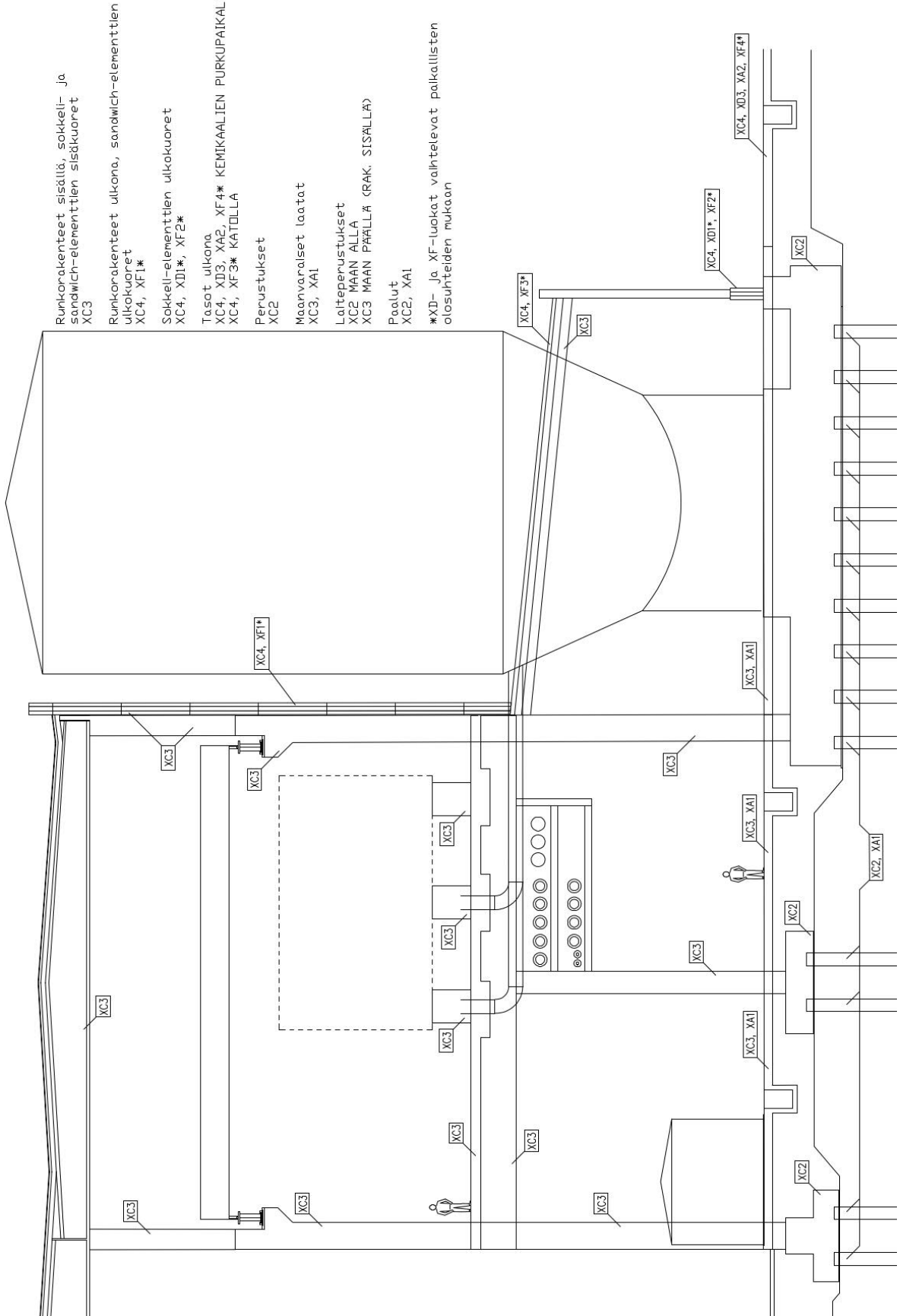
Laiteperustukset
XC2 MAAN ALLA
XC3 MAAN PÄÄLLÄ (RAK. SISÄLLÄ)

Paalut
XC2, XA1

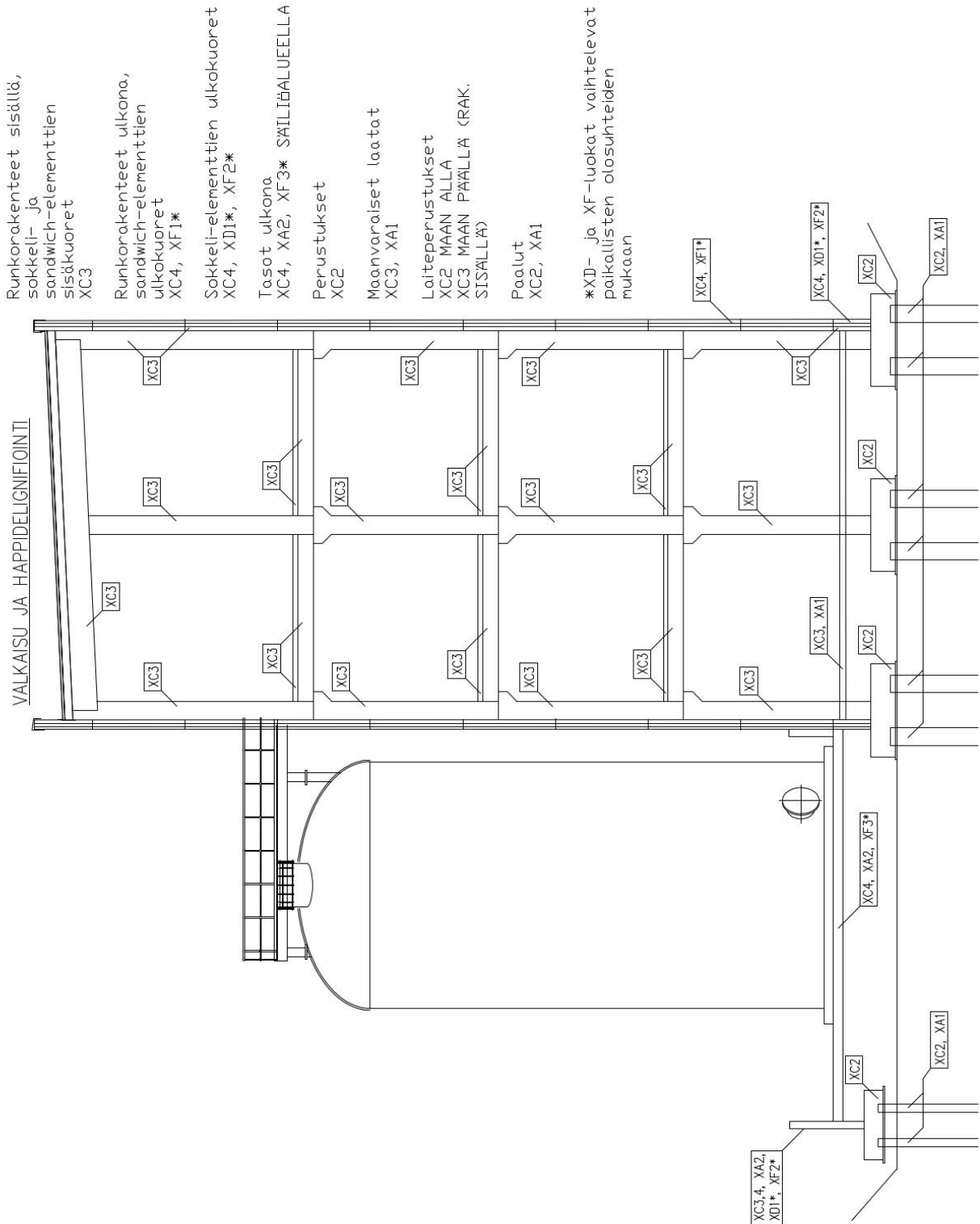
*XD- ja XF-luokat vaihtelevat paikallisten olosuhteiden mukaan



LIITE 2

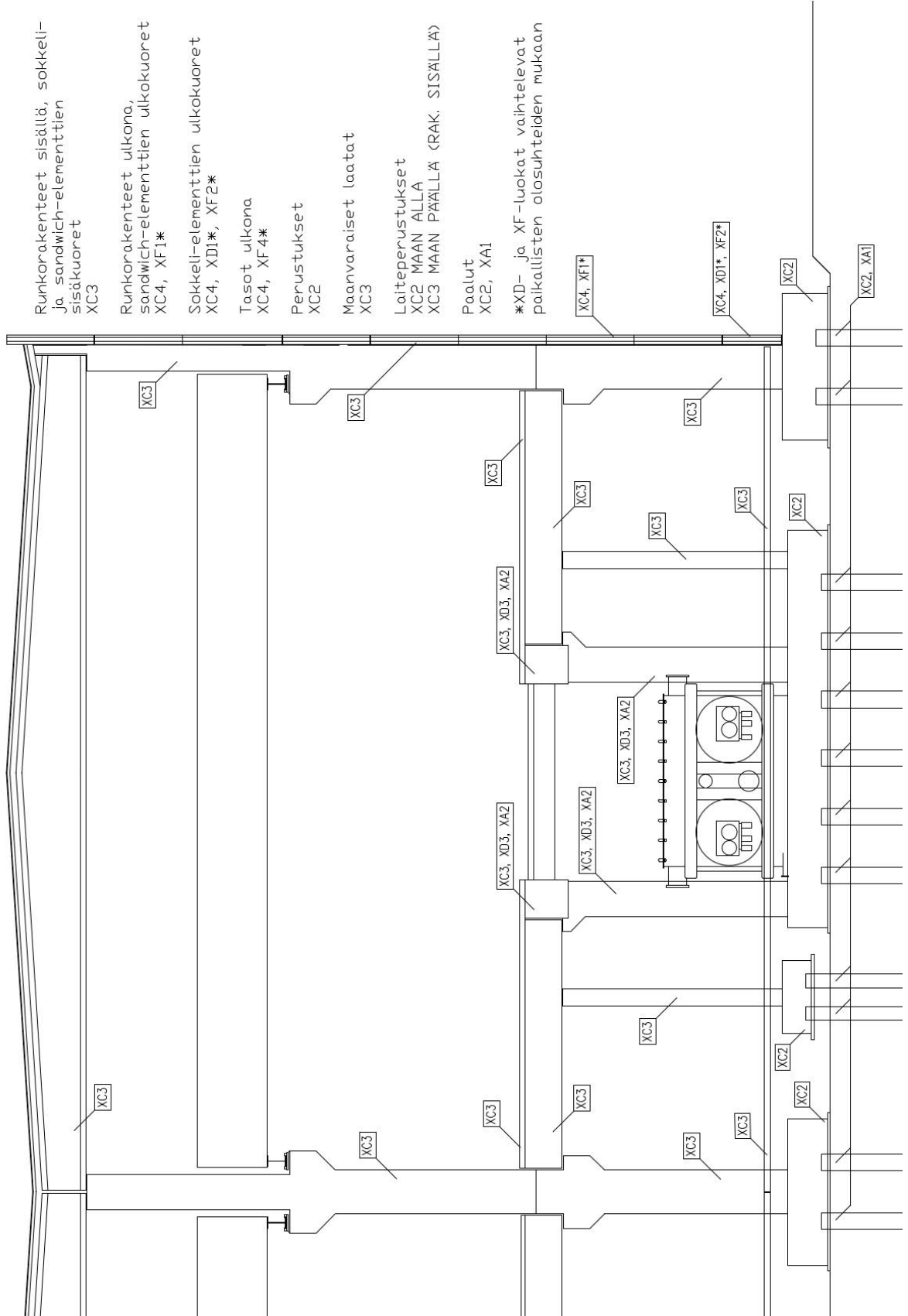


LIITE 3



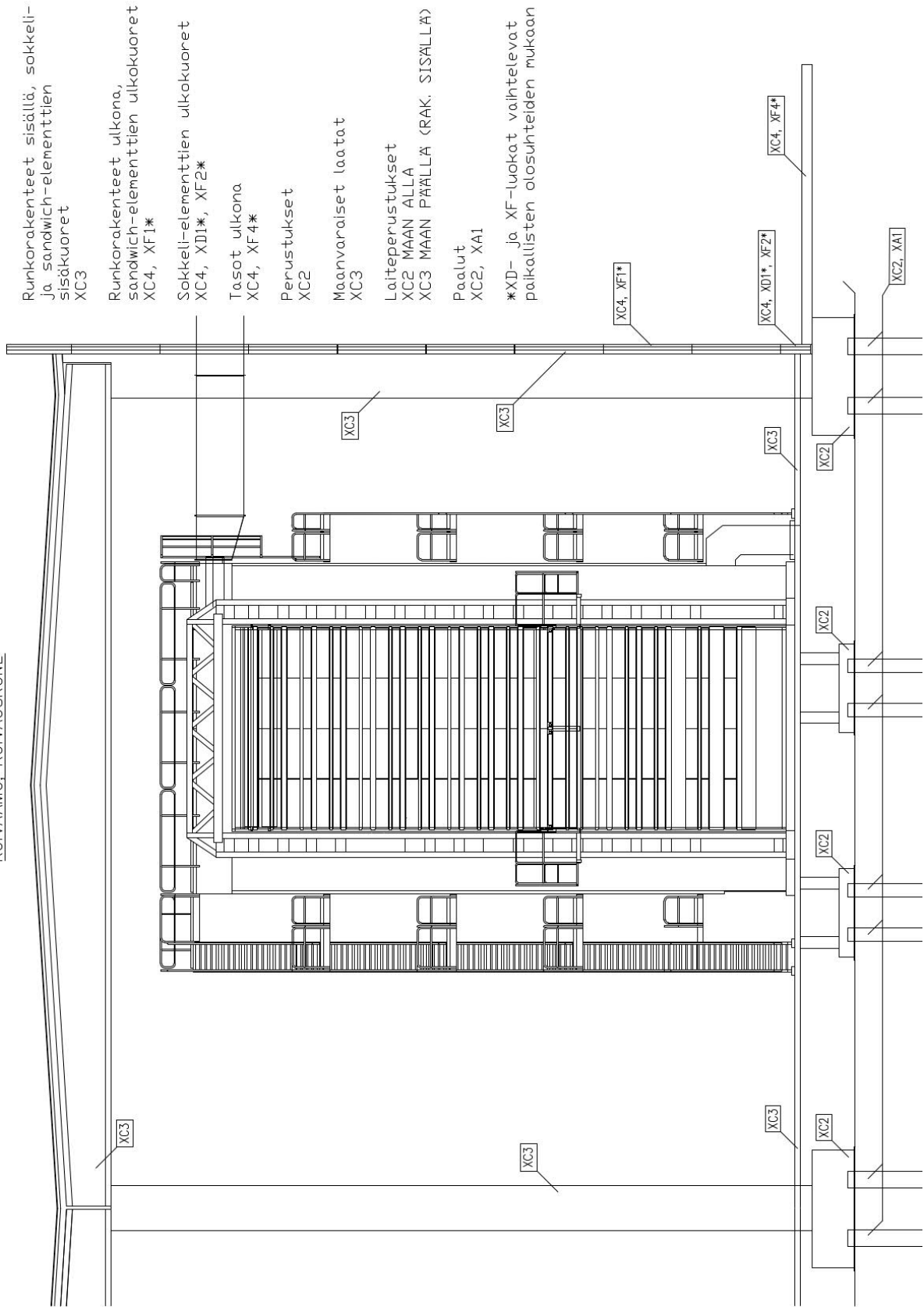
LIITE 4

KUIVAAMO, VIIRA- JA PURISTINOSA

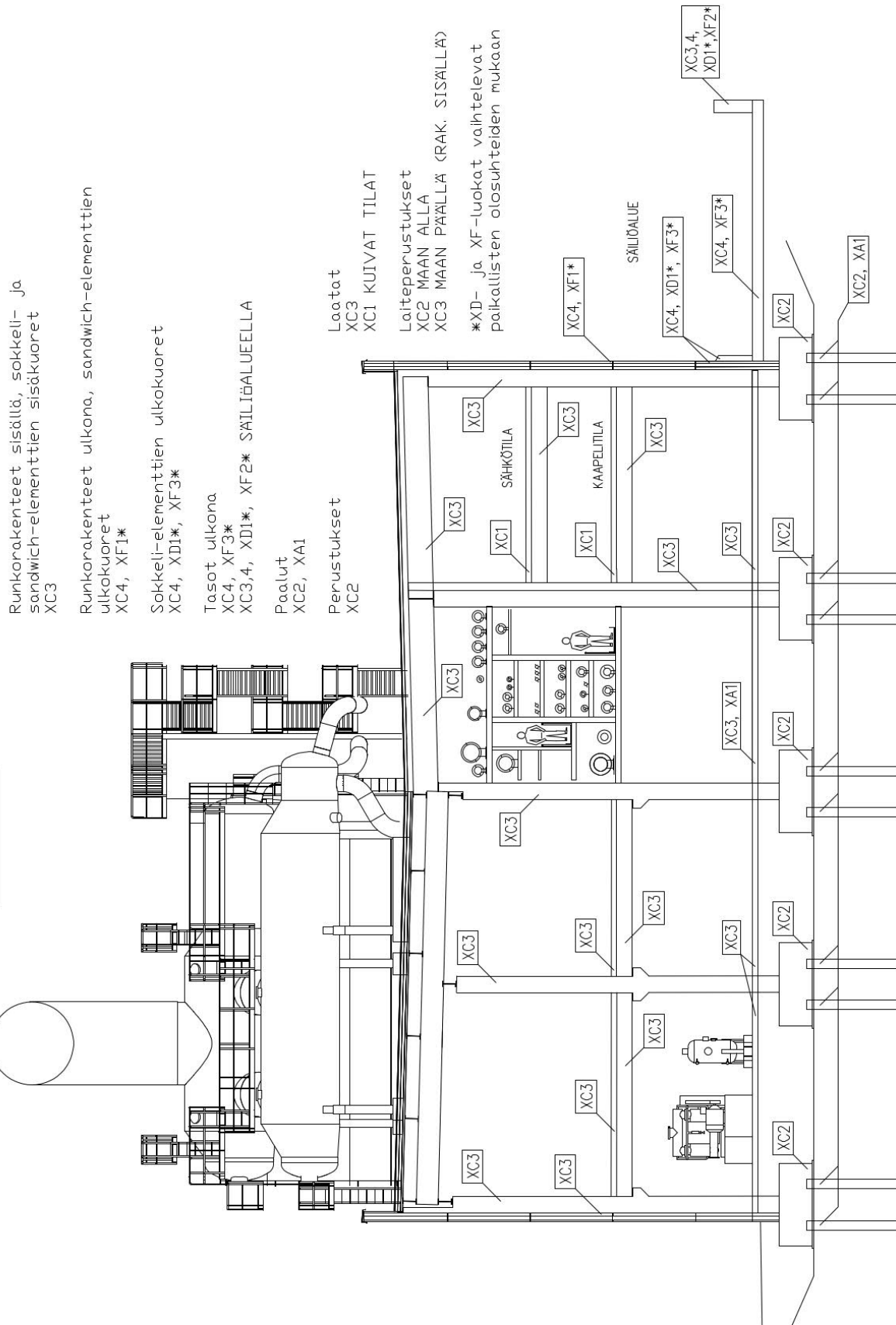


LIITE 5

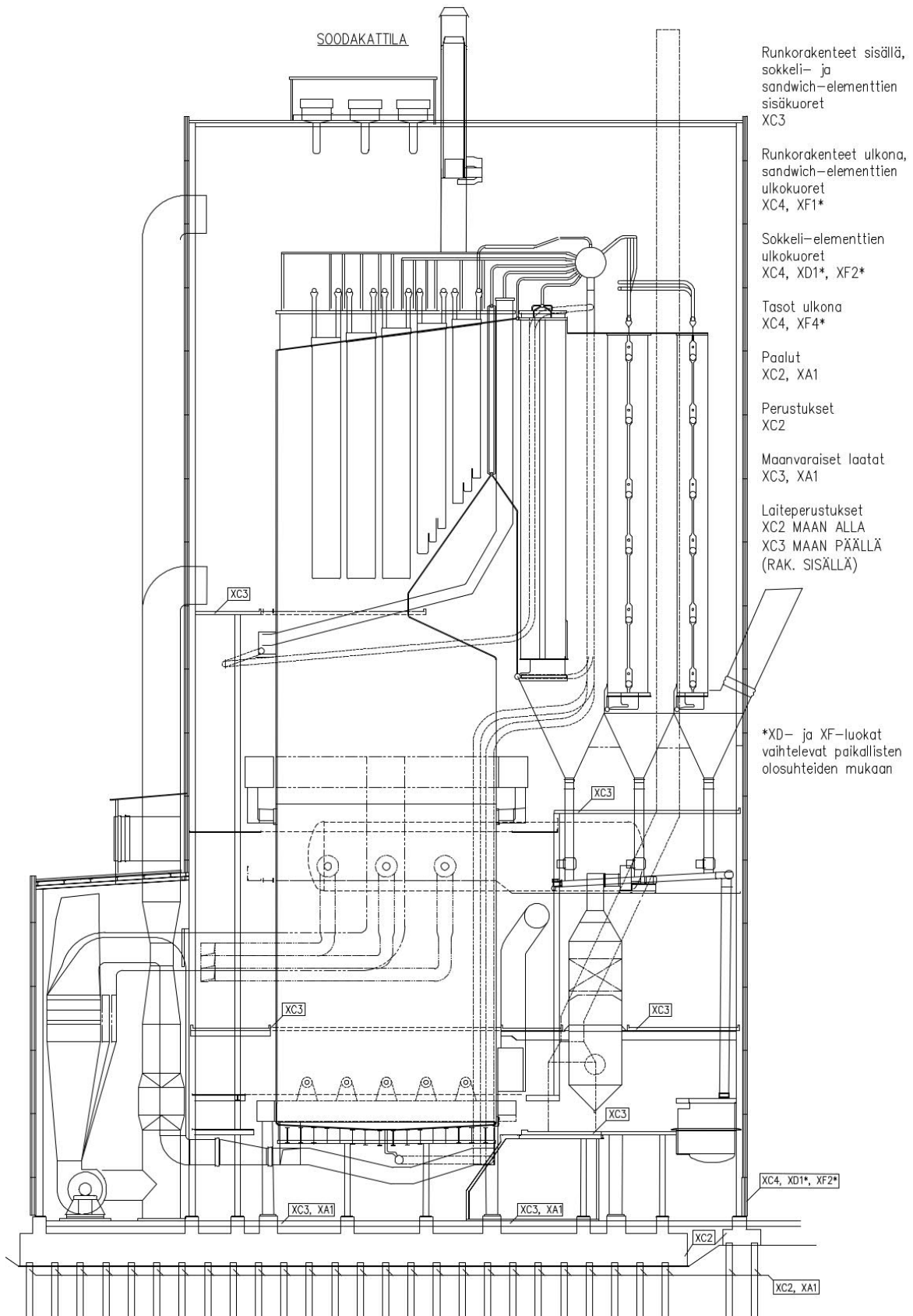
KUIVAAMO, KUIVAUSKONE



HAIHDUTTAMO



LIITE 7



LIITE 8

Runkorakenteet sisällä, sokkeli- ja sandwich-elementtien sisäkuoret XC3

Runkorakenteet ulkona, sandwich-elementtien ulkokuoret XC4, XF1*

Sokkeli-elementtien ulkokuoret XC4, XD1*, XF2*

Tasot ulkona XC4, XF4*

Padlut XC2, XA1

Perustukset XC2

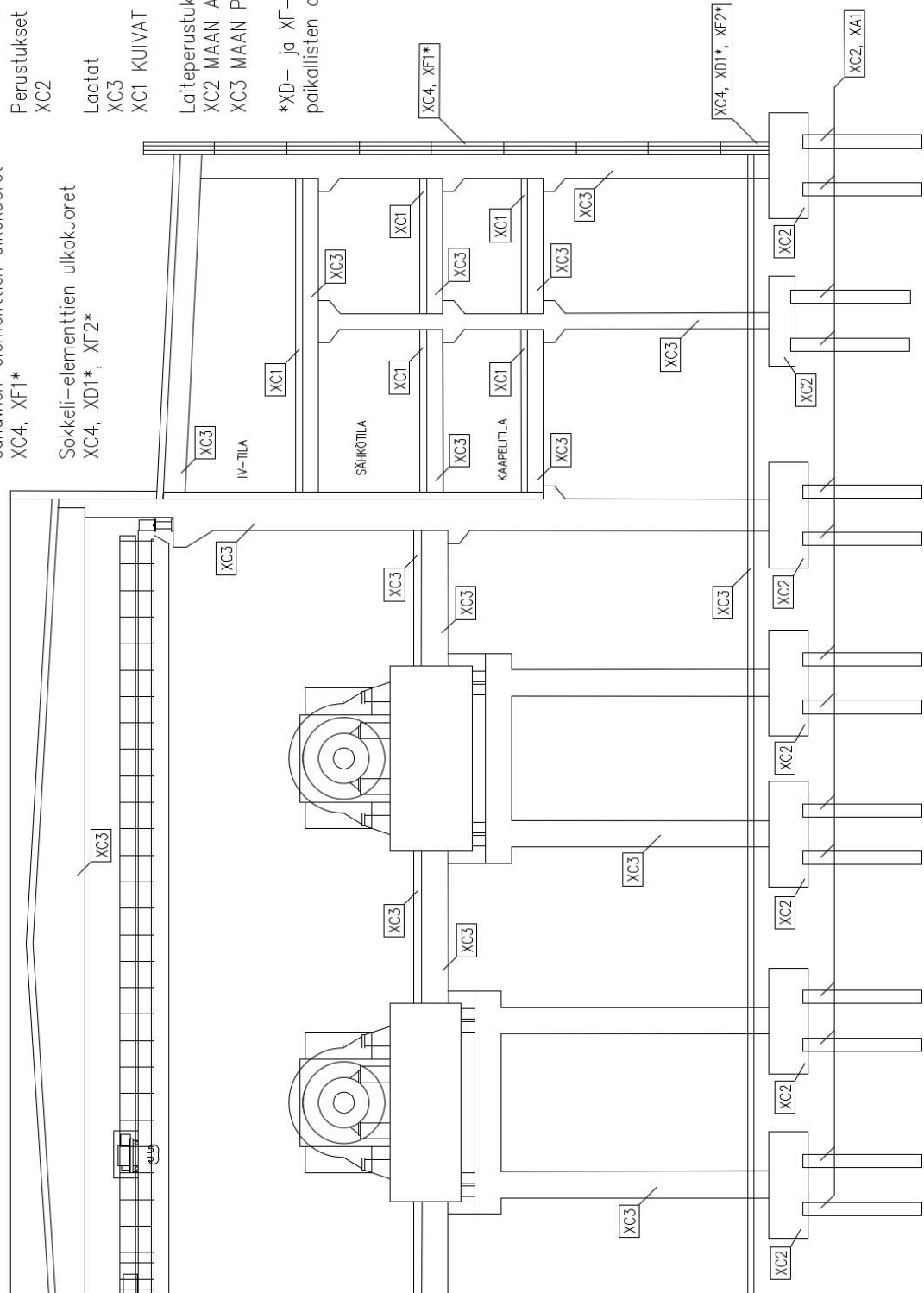
Laatat XC3

XC1 KUIVAT TILAT

Laitteperustukset XC2 MAAN ALLA
XC3 MAAN PÄÄLLÄ (RAK. SISÄLLÄ)

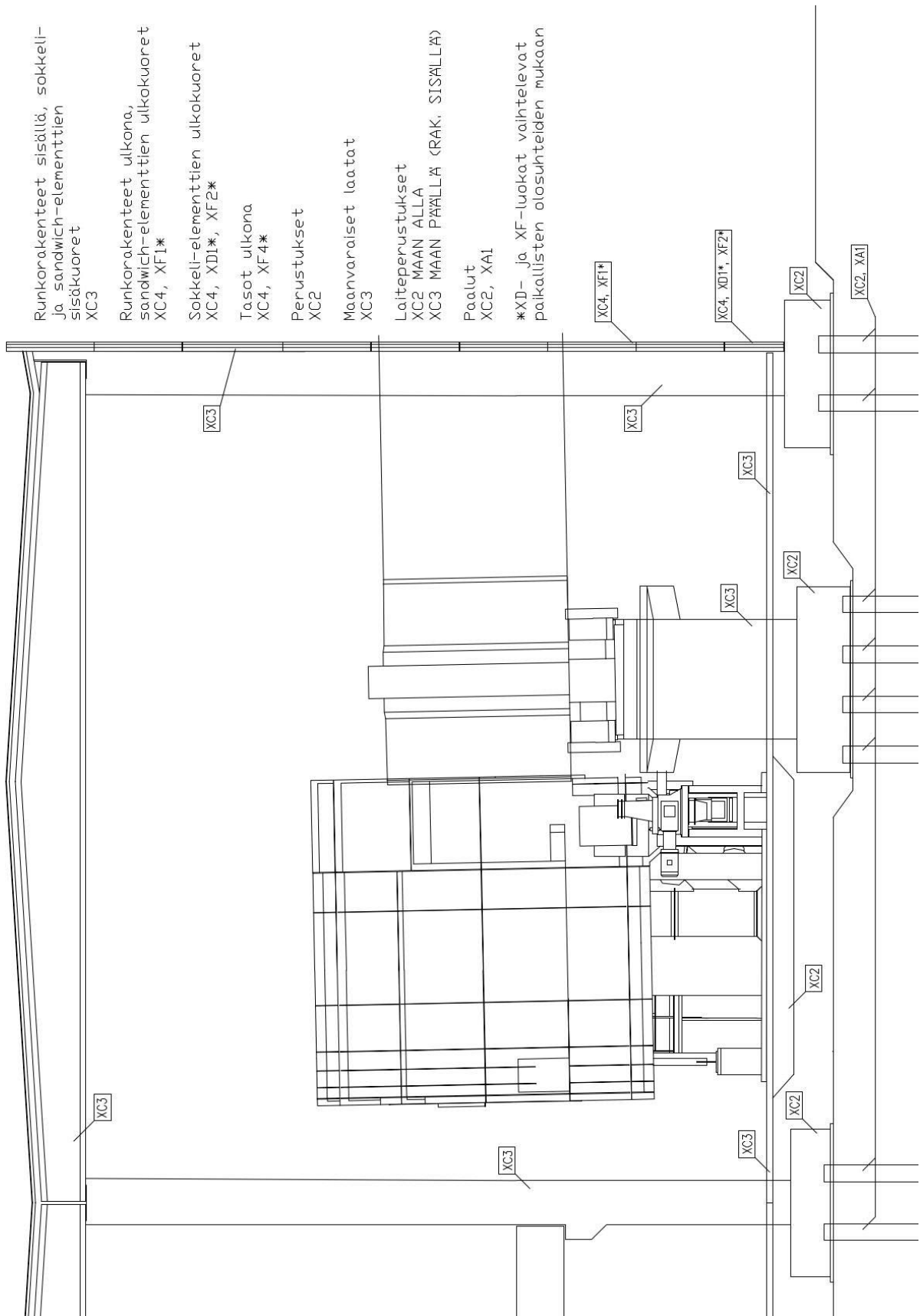
*XD- ja XF-luokat vaihtelevat paikallisten olosuhteiden mukaan

TURBIINI



LIITE 9

MEESAUNNI



LIITE 10

ILMASTUSALLAS

Runkorakenteet vedenpinnan
yläpuolella
XC3,4, XA2, XF3*

Altaan runkorakenteet
vedenpinnan alapuolella
XC2, XD2, XA2

*XD- ja XF-luokat
vaihtelevat paikallisten
olosuhteiden mukaan

