

MEKA PRO KAABLIKANDE- SÜSTEEMIDE KÄSIRAAMAT

ÜLEVADE OLULISEMAST
PÕHIMÕTETEST, STANDARDITEST JA
REGULATSIOONIDEST



SISUKORD

Sisukord	2
Sissejuhatus	3
Kaablikandesüsteemi valimine	4
Ehitusinfo modelleerimine (BIM)	6
Paigaldamine, planeerimine ja teostus / Töövõtja ja paigaldaja	7
Koormus ja läbipaine	8
Temperatuuri muutused	10
Kaablite paigaldus	12
Hooldus	13
Maandamine ja elektromagnetiline ühilduvus EMC	13
Tulekindel paigaldus	14
Kaablikandesüsteem	14
Kaablid	15
Jätkusuutlikkus	15
Käitlemine	17
Pakendamine	17
Hoiustamine	18
Materjalide omadused ja nende mõju / Projekteerija, arendaja ja inspekteerija	20

Keskkonnad	20
Korrosioon	23
Alumiinium	24
Roostevaba teras	25
Tsinkkatted	25
Kuumtsinkimine kastmismeetodil HDG	25
Eeltsinkimine PG	27
Elektrolüütiline tsinkimine EG	27
Tsentrifuugtsinkimine	27
Tsinkhelveskate	28
Keemia	28
Välimus	29
Värvimine	29
Tsink-magneesiumkatted (ZM) XPG	30
Tsink-alumiiniumkatted (ZA)	30
Kaablikandesüsteemi mehaaniline tugevus	30
Kokkuvõte	35
Terminoloogia	36



SISSEJUHATUS

Meka Pro toodab kõrgekvaliteedilisi kaablikandesüsteeme, mis vastavad paljudele erinevatele standarditele, regulatsioonidele ja juhenditele. Selle käsiraamatu eesmärk on esitleda olulisemaid standardeid ja regulatsioone ning kaablikandesüsteeme puudutavaid täiendavaid põhimõtteid, et toetada kõiki kaablikandesüsteemidega kokkupuutuvaid osapooli (arendaja, projekteerija, töövõtja, paigaldaja, inspekteerija ja hooldustöölised) oma igapäevases töös. Koos Meka Pro kataloogi, paigaldamisjuhendite, tulekindla kaablikandesüsteemi brošüüri ja YouTube lühivideotega moodustab käesolev käsiraamat kaablikandesüsteeme käsitleva põhjaliku teabeallika.

Käesolev raamat käsitleb kaablikanalisesüsteeme ja nende komponente. Kaabliredelisüsteeme on rangelt keelatud kasutada inimestele mõeldud redeli või käiguteena. Kaablikandesüsteemid on projekteeritud kaablite toetamiseks, kuid ei taga täielikku mehaanilist kaitset.

Käesolev käsiraamat on kogumik kaablikandesüsteeme puudutavast üldisest teabest. See ei ole mõeldud kasutamiseks kaablikandesüsteemide projekteerimise, paigaldamise või kasutamise alusena. Kaablikandesüsteemide projekteerimise, paigaldamise ja kasutamisega tohivad tegeleda vaid kvalifitseeritud töötajad, kes on kursis elektri- ja mehaaniliste paigaldistega, võttes arvesse hetkel kehtivaid ehitus-, projekteerimis- ja inseneritavasid ning kohalikke õigusakte ja eeskirju ning tagades tööohutuse.

Kuigi käsiraamatu koostamisel on igati püütud vältida vigu, ei saa koostaja anda ühtegi otsest ega kaudset garantiid, et käsiraamatus sisalduvad tabelid, joonised ja valemid ning neis sisalduv info on veatu, täpne ja täielik. Ei Meka Pro ega ükski teine osapool, kes on osalenud käesoleva väljaande ettevalmistamises, koostamises või levitamises, ei vastuta otseste, kaudsete, tagajärjeliste või juhuslike kahjude eest, mis võivad tuleneda käesoleva väljaande

kasutamisest, selle kasutamise tulemustest või kasutamatuses, isegi kui Meka Pro-le on teatatud selliste kahjude või nõuete võimalikkusest.

KAABLIKANDESÜSTEEMI VALIMINE

Kaablikandesüsteemi valikul osalevad kaudselt või otseselt paljud erinevad osapooled. Projekteerijad, arendajad, käitleja, töövõtjad, paigaldajad ja inspekteerijad lähenevad kaablikandesüsteemile kõik oma isiklikust perspektiivist, kaaludes ka sellega seotud olulisemaid tegureid nagu ohutus, otstarve, keskkond, elutsükkel, kandevõime, tulekindlus, laiendatavus ja kulutõhusus.

Seega hõlmab kaablikandesüsteemi valik palju erinevaid osapooli ja tegureid, mistõttu ei ole võimalik ühe käsiraamatu raames anda täielikku detailset ning rahvusvaheliselt kehtivat juhendit kaablikandesüsteemi valikuks, kuivõrd iga üksik tegur, olgu selleks siis keskkond või laiendatavus, võiks omada eraldi juhendit. Samuti on iga seotud osapoolel, näiteks käitlejatel ja inspekteerijatel, oma asukohariigipõhised reeglid ja seadusandlus, mida tuleb teada ja järgida. Kuigi käesolev käsiraamat ei suuda anda ülemaailmselt kehtivaid põhjalikke ja juriidilisi juhiseid kaablikandesüsteemi valiku kohta, on võimalik pakkuda kokkuvõtlikku taustteavet valiku tegemise toetamiseks.

Valiku esmaseks aluseks on kohalike eeskirjade ja õigusaktide jälgimine. Kaablikandesüsteem tuleb projekteerida ja valmistada vastavalt kohalikele või rahvusvahelistele standarditele ning paigaldada kehtivate standardite

ja paigaldusjuhiste kohaselt. Meka Pro projekteerib, valmistab, testib ja sertifitseerib oma tooteid lähtuvalt IEC 61537 standardist, mis on ühtlustatud Euroopa Liidu madalpinge direktiivi 2014/35/EL (LVD) alusel, mis tagab, et kõikidele kaablikandesüsteemidele kehtib ühtne vastavushindamisprotsess.

Lisaks standardile IEC 61537 on Meka Pro toodetel korrosioonikindlus ja keskkonnasobivus. Kasutusiga klassifitseeritud standardite ISO 12944 ja ISO 10289 järgi. Meka Pro toodete tulekindlus on testitud standardis EN 1363-1 toodud temperatuuridel, mis on kooskõlas ISO 834-1 ja DIN 4102 standarditega. Meka Pro toodete valmistamisel lähtutakse standardites EN 10130, EN 10131, EN ISO 4042, EN ISO 2081, EN 10346, EN ISO 1461, EN 10088, EN 10169, ASTM A240 ja ASME SA240 nimetatud materjalidest ja kattematerjalidest. Seega kokkuvõttes kujundab ja toodab Meka Pro oma tooteid mahukast standardite nimekirjast lähtuvalt.

Kõik nimetatud standardid moodustavad kaablikandesüsteemide **ohutuse tagamisel** laiapõhise aluse, mis peaks valiku juures olema üks prioriteetsemad kriteeriumeid mistahes asjaosalise jaoks. Nimetatud standardid sätestavad sageli selged piirangud ja juhised kaablikandesüsteemide paljude erinevate aspektide osas, näiteks määratlevad need

kasutatavate materjalide miinimumtugevuse ning annavad juhiseid korrosioonikindluse kindlaksmääramiseks. Ohutuse tagamiseks peavad tooted olema standardite kohaselt märgistatud ja identifitseeritud. Loomulikult sisaldavad need standardid ka juhiseid kaablikandesüsteemi tulekindluse tagamiseks.

Nimetatud standardid võimaldavad teha kaablikandesüsteemide valikut **hoone spetsiifikast** lähtuvalt. Eluhoonetel on erinevad nõuded kui tootmishoonetel. Erineda võivad nii keskkonna- ja kliimatingimused kui ka käitaja poolt esitatavad esteetilised nõuded. Antud standardid määratlevad komponentide korrosioonikindluse, mis võimaldab igale konkreetsele ehitisele valida just selle jaoks sobiva kaablikandesüsteemi. Standardid erinevate materjalide või pinnatöötluste kohta võimaldavad valida süsteemikomponentide jaoks sobiva lahenduse. Samuti toetavad nimetatud standardid optimaalse tugevusega kaablikandesüsteemi valikut, nii tööstus-, äri- kui ka elamuehituses.

Koormus on kaablikandesüsteemi valimisel üks määravaid tegureid. Liiga suur koormus võib süsteemi koheselt lõhkuda ning isegi väike ülekoormus lühendab selle kasutusiga. Eelmainitud standardid kirjeldavad põhjalikult süsteemi **ohutu töökoormuse (SWL - safe**

working load) määratlust ning annavad juhised selle kindlaksmääramiseks. See võimaldab valida sobiva kaablikandesüsteemi, mis on kulutõhus, ohutu ning vajadusel omab lisavaru tulevasteks laiendusteks. Standardite loetelu sisaldab ka materjalistandardeid, mis määravad kasutatavate materjalide minimaalsed tugevusnõuded ja nende mõju süsteemi koormustaluvusele.

Kaablikandesüsteemi keskkond ja eeldatav

kasutusiga on tihedalt seotud eespool käsitletud konstruktsiooni ja koormuse teemadega ning on seetõttu kaasatud ka vastavatesse standarditesse. Pinnakate ja materjal määratakse keskkonna põhjal. Maapiirkonnas kasutatav kaablikandesüsteem ei vaja samaväärset korrosioonikaitset kui naftaplatvormile paigaldatud süsteem ja vastupidi, kui naftaplatvormi kaablikandesüsteemi korrosioonikaitse valida maismaa tingimuste järgi, jääb selle kasutusega lühikeseks. Keskkonnatingimusi käsitletakse samades standardites koos korrosioonikindlusega. Lisaks korrosioonile mõjutab kaablikandesüsteemi kasutusega oluliselt ka sellele mõjuv koormus. Eespool nimetatud standardid annavad selged juhised kaablikandesüsteemide ohutu töökoormuse määratlemiseks. Seega, kui kaablikandesüsteem projekteeritakse vastavalt nendele standarditele, on võimalik valida sobiv süsteem ning prognoosida selle kasutusega, eeldusel, et on teada keskkonnatingimused ja planeeritav koormus. Sobiv koormus koos õige korrosioonikaitsega tagavad kaablikandesüsteemile pika ja optimaalse kasutusea.

Eespool loetletud standardid võimaldavad kaablikandesüsteemide hilisemat **laiendamist**. Nimetatud standardid nõuavad tootjatelt nõuetekohase tootedokumentatsiooni koostamist ja säilitamist. See võimaldab juba paigaldatud lahendustele hankida uusi lisa detaile. Üldisemalt, korrektne dokumentatsioon võimaldab võrrelda uusi süsteeme olemasolevatega ning teha olemasolevatele süsteemidele usaldusväärseid laiendusi ilma kogu süsteemi välja vahetamata, mis omakorda aitab vähendada keskkonnamõju ning võimaldab teha parandusi kulutõhusamalt.

Esitatud standardite loetelu on aluseks

ka **kulutõhususele**. Kuigi standardid ja standardiseeritud protsessid võivad kaasa tuua mõningaid lisakulusid, suurendavad igal tasandil läbipaistvad ja ühtlustatud tegevused kogu ahela efektiivsust, alates projekteerimisest kuni ringlussevõtuni. Projekteerijatel on selgem lähteinfo, hankemeeskond mõistab sobivate materjalide nõutavaid omadusi, inspekteerijad teavad koheselt süsteemi põhialuseid jne.

Hetkel puuduvad rahvusvahelised standardid kaablikandesüsteemide **tuleohutuse** ja tulekindluse kohta. Kehtivad üksnes kohalikud ja regionaalsed standardid, nagu DIN 4102-12 ja NPR 2576. Selgete standardite puudumine tekitab segadust ning võimaldab tootjatel avaldada erinevaid tuleohutuse sertifikaate. Hoolimata standardite puudumisest on soovitatav hea tava testida kaablikandesüsteemi lähtuvalt standardist EN 1363-1 kaasates testseadistusse ka kaablid. Nimetatud standard määratleb tulekatse temperatuuri ja rõhu tingimused. See võimaldab esitada omavahel võrreldavaid tulepüsivuse katsetulemusi süsteemi eeldatavast funktsioonist lähtuvalt. Mõnel juhul variseb kaablikandesüsteem tulekahju korral kokku, teisel juhul katkeb kuumuse tõttu elektriline toimivus. Kuna rikkeid ei ole võimalik usaldusväärselt ette prognoosida, tuleb süsteemi standardi alusel testida, et süsteemi valijal oleks võimalik soetada usaldusväärne ja ohutu kaablikandesüsteem, mis sobib iga konkreetse ehitisega.

Jätkusuutlikkus on tänapäeval oluline teema kõigis tööstusharudes, sealhulgas ka kaablikandesüsteemide tootmises. See tähendab tänaste vajaduste rahuldamist viisil, mis säilitab tulevaste põlvkondade võimalused. Jätkusuutlikus tegutsemises tasakaalustatakse terviklikult keskkonnavalused, sotsiaalsed ja majanduslikud aspektid tagamaks inimeste ja planeedi pikaajaline heaolu. Jätkusuutlik tegutsemine tugevdab ka ettevõtte võimet juhtida riske, järgida õigusakte, luua usaldust sidusrühmadega ning meelitada ligi talente.

Keskkonnavalane jätkusuutlikkus keskendub looduslike ökosüsteemide kaitsele, ressursside säästlikule kasutamisele ja saaste vähendamisele. See hõlmab muu hulgas süsiniku jalajälje vähendamist ja taastuvenergia edendamist.

Sotsiaalne jätkusuutlikkus rõhutab võrdust, inimõigusi ja kogukondade heaolu. Olulised aspektid on turvalised töötingimused ja töötajate rahulolu. **Majanduslik jätkusuutlikkus** toetab pikaajalist kasvu ja eetilisi tegevusi, kahjustamata seejuures sotsiaalset ja keskkondlikku heaolu. See hõlmab vastutustundlikku finantsjuhtimist ning investeringuid, mis säilitavad nii loodus- kui ka inimkapitali.

Nagu eelnevates lõikudes näidatud, tuleb kaablikandesüsteemi valikul arvestada paljude erinevate teguritega: ohutus, ehitusobjekti spetsiifika, keskkond, kasutusega, koormus, tulekindlus, laiendatavus ja kulutõhusus. Kuna kaablikandesüsteemi valikusse on kaasatud paljude erinevate valdkondade spetsialistid – projekteerijad, arendajad, käitleja, töövõtjad, paigaldajad ja inspektorid, on keeruline anda lühidalt ja lihtsustatud kujul kõikehõlmavaid vastuseid ja soovitusi. Loodetavasti julgustab see lühike peatükk lugejat jätkama järgmiste peatükkidega, mis pakuvad täiendavat teavet kaablikandesüsteemide laias temaatikas. Lisatõe ja teabe saamiseks võta julgelt ühendust Meka Pro esindusega.

KAABLIKANDESÜSTEEMI PROJEKTEERIMISE VAHENDID JA EHITUSINFO MODELLEERIMINE (BIM)

Ehitusinfo modelleerimist tutvustati ja kirjeldati esmakordselt juba 1962. aastal. Seda hõlmav mõiste (BIM - Building Information Modeling) tuli käibeale 90ndatel. Kaasajal on BIM paljudes ehitusprojektides kohustuslik ning seda mõistetakse nii protsessina kui ka 3D-modelleerimistarkvarana. BIMi kasutamine jätkub kogu hoone elutsükli vältel.

Ehitusinfo modelleerimine ehk ehitise infohaldus, on protsess, mis põhineb hoone või taristu elutsükli jooksul kasutatavatel mudelitel. Tegemist on koostööpõhise protsessiga, mis võimaldab mitmel erineval sidusrühmal töötada samaaegselt ühes mudelis kogu ehitise elutsükli jooksul. Hoonega seotud infot saab pidevalt ajakohastada ning muudatused rakenduvad automaatselt kõikides mudelites. See võimaldab sidusrühmadel nagu projekteerijad, arhitektid, omanikud ja hooldusmeeskonnad, teha otsuseid iga ajahetkel täpse ja ajakohase teabe põhjal.

Ehitusinfo mudelid pakuvad suuremat funktsionaalsust ja rohkem eeliseid kui traditsionaalsed 2D või 3D CAD mudelid, kuigi ka need võimaldavad mudelit parameetriliselt visualiseerida. Ehitusinfo mudelid on nutikad objektid, mis toimivad justkui reaalsete hoonete või taristute digitaalkaksikutena. Erinevaid tegureid ja nende mõju saab analüüsida ning testida digitaalses keskkonnas enne nende reaalses elus rakendamist. Muudatusi tehes uuendatakse vastavalt kõiki mudeleid ja nendega seotud objekte. See on oluline eelis nii hoonete hoolduses kui ka projekteerimisfaasis, kus sama projekti kallal töötab palju erinevaid osapooli.

Ehitusinfo mudelites kasutatav andmestik, näiteks nagu kasutatud materjalid, mõõtmed, mahud, geodeetiline info, töögraafikud, riskianalüüs jmt on lihtsasti muudetav ja vajadustest lähtuvalt kohaldatav.

Autodesk Revit on üks BIM-i jaoks loodud tarkvararakendustest. Revit ise ei ole BIM. Selle abil on võimalik luua objekte, mis sisaldavad andmeid, mida asjaosalised saavad vaadata erinevates vaadetes, nii 2D kui ka 3D formaadis. Objektid võivad olla omavahel seotud, nii et kui ühte objekti muudetakse, muutuvad ka sellega seotud objektid ning seda korraga kõigis vaadetes ja loendites.

Meka Pro pakub projekteerijatele tasuta Autodesk Reviti ja Cadmatic jaoks mõeldud Meka lisamoodulit, mis automatiseerib ja lihtsustab projekteerimise töövoogu võimaldades kasutajatel koostada täpseid osade nimekirju ja luua üksikasjalikke jooniseid otse mudelist, mis suurendab projekti täpsust ja tõhusust. Lisamoodul sisaldab Meka Pro laialdast tootevalikut ja eelvalideeritud seadistusi.

Meka Pro tööustuslikud lahendused on saadaval ka Aveva tarkvaras.

PAIGALDAMINE, PLANEERIMINE JA TEOSTUS / TÖÖVÕTJA JA PAIGALDAJA

Meka Pro toodete turvaliseks paigaldamiseks on soovitatav järgida Meka paigaldusjuhendit, mis annab üksikasjalikud suunised liitmike, tugede ja katete paigaldamiseks kaabliredelitel, kaablikanalitel, korvrennidel ja valgustirennidel. Meka Pro YouTube lühivideotes on paigaldamist näitlikustavad videod ning montaažinäited on leitavad Meka Pro kataloogist.

Kaablikandesüsteemide paigaldamine peab alati toimuma kvalifitseeritud töötajate poolt,

et tagada standarditele ning kohalikele eeskirjadele ja regulatsioonidele vastav ohutu ja nõuetekohane paigaldus. Ohutuse tagamiseks peavad paigaldustöötajad kandma sobivaid kaitsevahendeid ja -riietust. Näiteks on soovitatav kasutada kaitsekindaid löikevigastuste vältimiseks (vt joonis 1).

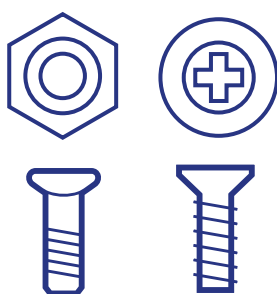
Paigaldamisel tuleb kasutada üksnes selleks sobivaid tööriistu, et tagada ohutu montaaž ja süsteemi kahjustusteta seisukord. Näiteks ei tohi

poltide pingutamiseks kasutada lööktööriistu (vt joonis 2). Kuigi süsteemid on tõenäoliselt võimelised taluma inimese kaalu, ei ole kaabliredelid ega kaablirennid paigaldamise üheski etapis ette nähtud kasutamiseks toetusena (vt joonis 3). Samuti ei tohi kaablikandesüsteeme kasutada voolu juhtimiseks (vt joonis 4).



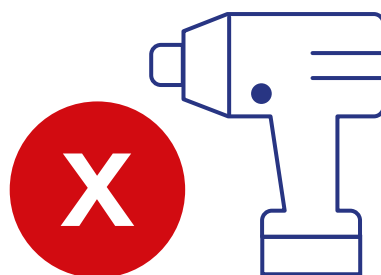
JOONIS 1

Vigastuste ärahoidmiseks tuleb paigaldamisel kasutada kaitsekindaid ja muid kaitsevahendeid.



JOONIS 2

Kaablikandesüsteemi mutreid ja polte ei tohi pingutada lööktööriistadega.

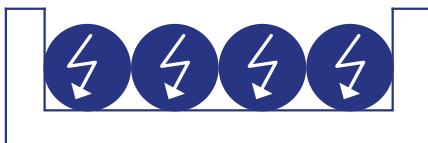


Mutrite ja poltide pingutamiseks ei tohi kasutada lööktööriistu.



JOONIS 3

Kaabliredelil kõndimine on rangelt keelatud!



JOONIS 4

Kaabliredeleid ja -renne ei tohi kasutada voolu juhtivate elementidena!

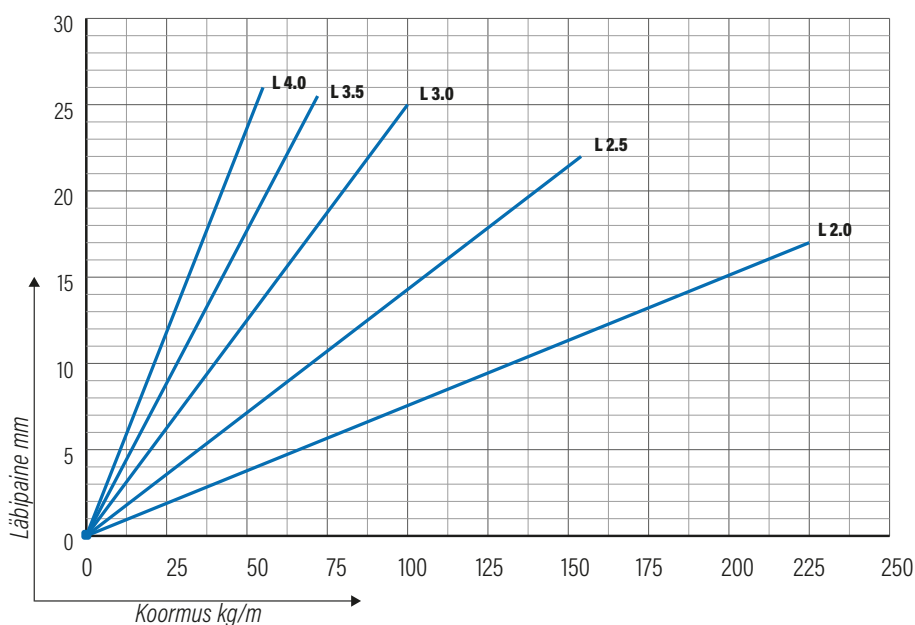
KOORMUS JA LÄBIPAIN

Kaablikandesüsteeme ei tohi kunagi üle koormata. Igal komponendil on määratud ohutu töökoormus (SWL - safe working load), mida ei ole lubatud ületada. SWL on esitatud kataloogis või andmelehel kas arvvaartuse või diagrammina. (Vt joonis 5)

Nagu jooniselt 5 näha, on silde pikkusel (L) ohutule töökoormusele otsene mõju: lühem silde võimaldab suuremat koormust ja vastupidi.

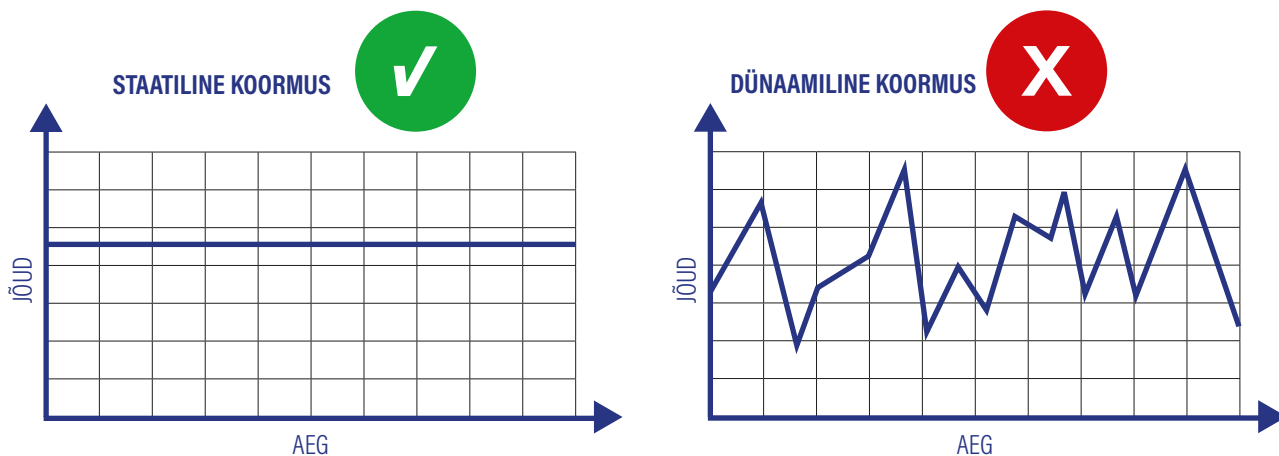
Kaablikandesüsteemid on ette nähtud ainult staatiliste koormuste kandmiseks ning dünaamilised koormused ei ole lubatud. (Vt joonis 6) Dünaamilised koormused tekitavad väsimuspinget, mis on oluliselt kahjustavam kui staatiline koormus. Üldise rusikareegli kohaselt on dünaamilise koormuse ohutu töökoormus ligikaudu 30-40% staatilise koormuse ohutust töökoormusest.

Lisaks väiksemale ohutule töökoormusele võivad dünaamilised koormused põhjustada poltühenduste lõtvumist, mille tagajärjel võivad ühendusdetailid (nt SSU) lahti tulla. Kui kaablikandesüsteem peab töötama dünaamiliste koormuste tingimustes, tuleb selle sobivust kontrollida tootja või maaletoojaga. See võib nõuda täiendavaid katsetusi ja sertifitseerimist.



JOONIS 5

Ohutu töökoormus (SWL) ja sellele vastav kaabliredeli läbipaine. Kuigi SWL on ligikaudu 1,7 korda väiksem kui purustav koormus, ei tohi SWL-i mitte mingil juhul ületada. Näiteks, kui silde pikkus (L) on 2 m peaks koormus olema 225 kg/m või väiksem. Sellisel juhul oleks läbipaine silde keskosas 17 mm või väiksem. Vastavad väärtused 3-meetrise silde (L) korral on 100 kg/m ja 25 mm.



JOONIS 6

Kaablikandesüsteemi ei tohi koormata dünaamilise koormusega.

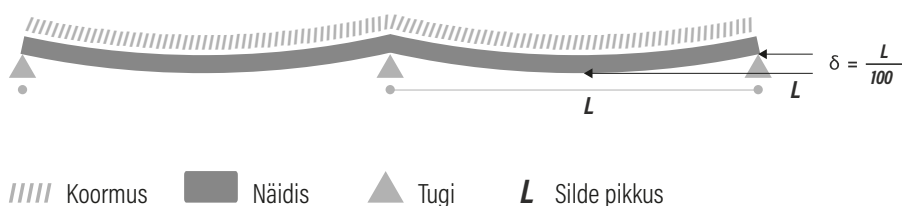
IEC 61537 standardi järgi ei tohi kaabliredeli iga silde tegelik keskmine läbipaine ületada 1/100 silde pikkusest. Näiteks 3-meetrise silde korral võib läbipaine olla maksimaalselt 3 cm. (Vt joonis 7) Kaablirennide puhul on soovitatav paigaldada need nii, et nähtaval lõigul ei ületaks keskmine läbipaine 1/200 silde pikkusest.

Sõltumata sellest, kas järgitakse standardi nõudeid või kliendi rangemaid spetsifikatsioone, tuleb kaablikandesüsteemide projekteerimisel ja paigaldamisel arvestada läbipainega.

Tugede ja ühenduskohtade asetus mõjutab oluliselt kaablikandesüsteemi koguläbipainet ja koormust. Seetõttu peab tootja või maaletooja esitama maksimaalse, ühendus kohast lähtuva, läbipaine ja koormuse. Maksimaalse läbipaine või koormuse esitamine eraldiseisvalt ei anna piisavat teavet kaablikandesüsteemi tugevuse kohta. Meka Pro poolt esitatud kaablikandesüsteemi läbipaine ja koormuse andmed kehtivad juhul, kui liitekoht jääb toest kaugusele, mis on 1/5 kuni 1/4 silde pikkusest (vt L/5 joonisel 8). Kui ühenduskoht paikneb silde keskel, ei vasta deklareeritud väärtused süsteemile ning läbipaine ja lubatud koormus

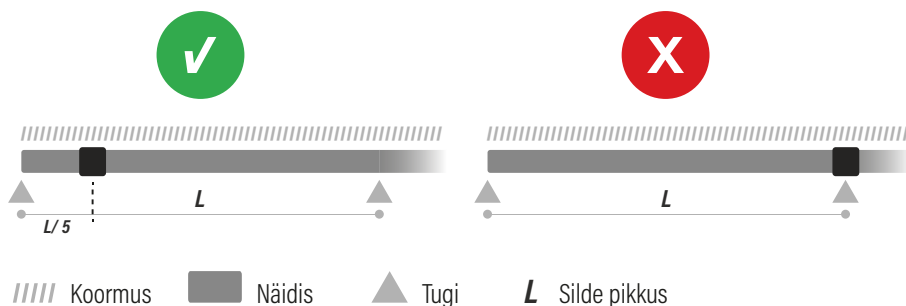
võivad olla teistsugused. Samuti tuleb arvestada, et ühenduskohad ei tohi paikneda täpselt toe peal ega selle all.

Ühesildeline süsteem (kaks tuge) kannatab väiksemat koormust kui mitmesildeline ühendatud süsteem, kolm ja rohkem tuge (vt joonis 9). Kui tootja või maaletooja ei ole ühe silde maksimaalset koormust määranud, tuleb ühe sildega süsteemi täpne kandevõime alati tootjaga või maaletoojaga üle kontrollida, kuigi rusikareeglina loetakse ühesildelise süsteemi ohutuks hinnanguks umbes 50% mitmesildelise süsteemi kandevõimest.



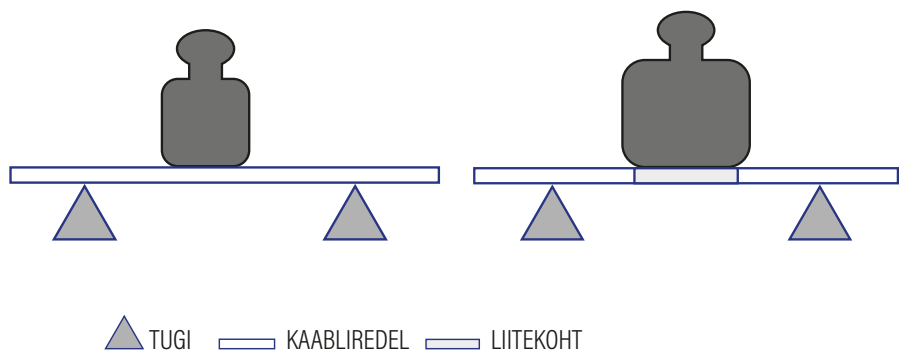
JOONIS 7

Kaabliredeli või kaablirenni maksimaalne lubatud läbipaine sõltub silde pikkusest.



JOONIS 8

Soovitatavad (vasakul) ja keelatud (paremal) liite asukohad.



JOONIS 9
Ühesildeline (liitekohtadeta) süsteem talub väiksemat koormust kui mitmesildeline (kolm või enam tuge, jätkatud) süsteem. Täpset koormust tuleb kontrollida tootja või maaletootja käest. Asjatundlikuks hinnanguks võib pidada 50% mitmesildelise süsteemi ohutust kandevõimest.

TEMPERATUURI MUUTUSED

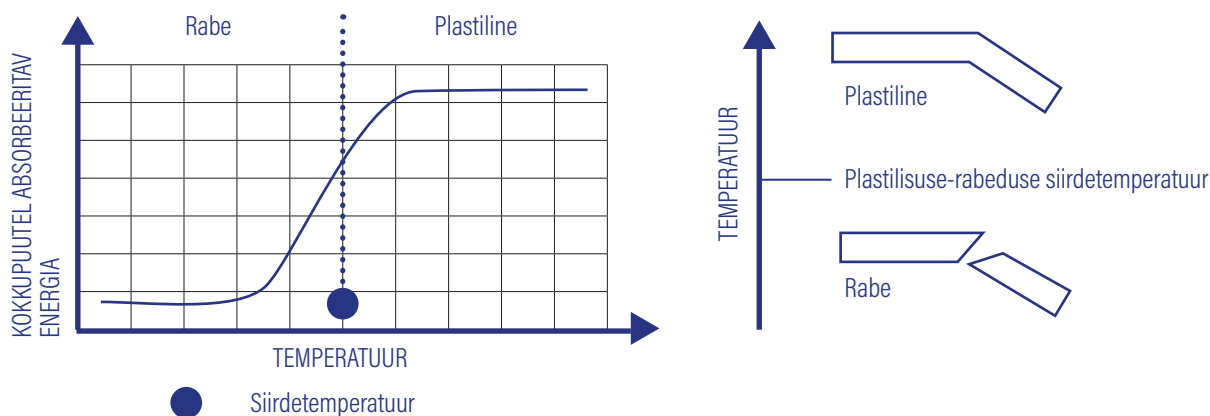
Lisaks staatilisele ja dünaamilisele koormusele tuleb projekteerimisel ja paigaldamisel arvestada ka temperatuuri mõjuga, eriti juhul, kui on teada, et temperatuur võib olla suure varieeruvusega. Temperatuuri mõjul materjalide mõõtmed muutuvad, temperatuuri tõus põhjustab

materjali paisumist ja langus kahanemist. Temperatuuri muutustest tingitud kaabli- kandesüsteemi pikkuse muutustega tuleb arvestada, kuna süsteemid on sageli pikad ning seetõttu võib soojuspaisumise mõju olla kokkuvõttes märkimisväärne.

Tabelis 1 on esitatud mõnede materjalide soojuspaisumise koefitsiendid ning muutused materjali pikkuses 1 meetri materjali kohta temperatuuri muutuste tõttu. Näiteks pikeneb 1 meetri pikkune roostevabast terasest (316) varras temperatuuri tõusul +20 °C võrra 0,32 mm. Seega pikeneks see temperatuuri muutumisel -20 °C-lt

Materjal	Soojuspaisumise koefitsient [10 ⁻⁶ m/(m·°C)]	Pikenemine ühe meetri kohta	
		ΔT=20°C [mm]	ΔT=100°C [mm]
Alumiinium	21...24	0.42...0.48	2.1...2.4
Hallmalm	10.8	0.22	1.08
Tsement	10...11	0.20...0.22	1...1.1
Betoon	13...14.5	0.26...0.29	1.3...1.45
Vask	16...17	0.32...0.34	1.6...1.7
Kuld	14.2	0.28	1.42
Plastid	40...120	0.8...2.4	4...12
Roostevaba teras, 304 (austeniitne)	17.3	0.35	1.73
Roostevaba teras, 316 (austeniitne)	16.0	0.32	1.6
Roostevaba teras, 410 (ferriitne)	9.9	0.20	0.99
Teras	11...12.5	0.22...0.25	1.1...1.25
Tsink	30...35	0.6	3...3.5

TABEL 1
Mõningate materjalide soojuspaisumise koefitsiendid ja pikkuste muutused 1-meetri kohta temperatuuri muutustel 20°C ja 100°C.



JOONIS 10

Paljudel terastel esineb üleminekutemperatuur plastilise ja rabeda oleku vahel. Praktikas tähendab see, et terased, mis kõrgemal temperatuuridel on plastilised ja painduvad, muutuvad teatud temperatuurist allpool rabedaks. Sellisel juhul nad ei paindu, vaid pragunevad ning on eriti tundlikud löökide suhtes.

+40 °C-ni 0,96 mm ning 6 meetri pikkune varras pikeneks sama temperatuuri muutuse korral juba 5,76 mm. Üldiselt kehtib reegel, et mida väiksem on soojuspaisumistegur, seda väiksem on ka soojuspaisumine.

Lisaks temperatuurimuutustele võib ka temperatuuril endal olla mõju materjali käitumisele. Äärmuslikult kõrged või madalad temperatuurid omavad potentsiaalselt suuremat mõju mistahes materjalile. Kuigi see on sagedamini omane plastidele, mõjutavad temperatuuri muutused ka terast. Temperatuuri tõustes terase tugevus ja elastsus vähenevad, kusjuures muutused on märkimisväärsed alates umbes +200 °C ja enama juures.¹ Tavapärasel õhutemperatuuridel (0...+40 °C) võib terase tugevust ja plastilisust pidada konstantseks. Äärmuslikes tingimustes, eriti tulekahju korral, tuleb aga arvestada terase tugevuse vähenemise ja läbipainde suurenemisega. Kõrgetel temperatuuridel venib teras kuni purunemiseni. Valitud terase täpsed füüsikalised omadused

tuleks igal üksikjuhthul terasetootjalt üle kontrollida. Näiteks võivad mõned roostevaba terase tüübid taluda kõrgemaid temperatuure kui konstruktsiooniterased.² Sarnaselt terasele nõrgenevad ka alumiiniumisulamid töötemperatuuri tõustes. Alumiiniumi tugevus ja plastilisus vähenevad temperatuuri mõjul märkimisväärselt juba ammu enne selle sulamistemperatuuri, mis võib olla isegi umbes +500 °C. Nagu terase puhul, varieeruvad ka alumiiniumisulamite omadused suurel määral, mistõttu tuleb täpsed arvutused teha vastavalt konkreetsele sulamile.

Lisaks kõrgetele temperatuuridele võivad ka madalad temperatuurid materjali omadusi oluliselt mõjutada. Paljud terased muutuvad külmas keskkonnas tugevamaks³, mistõttu mõistlike temperatuuride juures ei ole tugevus ise probleemiks. Sarnaselt terasele taluvad ka alumiiniumisulamid madalaid temperatuure hästi ning nende omadused mõistlikus temperatuurivahemikus märkimisväärselt ei

muutu. Alumiiniumisulamitel on terase ees üks eelis – neil puudub plastilisuse-rabeduse siirdetemperatuur, st alumiinium säilitab plastilisuse kuni krüogeensete temperatuurideni. Seevastu enamik teraseid muutub teatud temperatuuril plastilisest rabedaks. Sel hetkel lakkab teras paindumast ja muutub rabedaks (vt joonis 10). Löögid on eriti ohtlikud just rabedatele terastele. Näiteks peetakse Titanicu kiire uppumise üheks põhjuseks rabedat purunemist kokkupõrkel jäämäega.⁴ Rabedad purunemised toimuvad ilma eelneva plastse deformatsioonita ja kiiresti, mistõttu võib see teatud rakendustes olla katastroofilise mõjuga. Terase siirdetemperatuur sõltub paljudest teguritest, mistõttu tuleb konkreetse terase siirdetemperatuuri kontrollida juba projekteerimise faasis. Kuna alumiiniumil siirdetemperatuur puudub, on alumiiniumisulamid olulised rakendustes, mis toimivad miinustemperatuuridel ja krüogeensetes tingimustes.

¹ Outinen J. & Mäkeläinen P. 2002. Mechanical properties of structural steel at elevated temperatures and after cooling down. Second International Workshop << Structures in fire >>, Christchurch.

² Specialty Steel Industry of North America. Chemical compositions for common stainless steels. Education, Technical Resources, Composition/Properties. The European Stainless Steel Development Association 2012. Stainless steels at high temperatures. (Materials and Applications Series, Volume 18

Stainless Steels at High Temperatures). ISBN 978-2-87997-064-6

³ Total Materia 2001. Steel properties at low and high temperatures.

⁴ Bassett V. 1998. Causes and Effects of the Rapid Sinking of the Titanic. University Of Missouri-Rolla 1997. Testing Shows Titanic Steel Was Brittle.

KAABLITE PAIGALDUS

Kaablite paigaldamisel kaablikandesüsteemi tuleb arvestada paljude parameetritega, nagu maksimaalne tõmbejõud, külgeina surve, vaba ruum (passaaž), painderaadius ja mehaaniline vigastus (muljumine). Need parameetrid ja neile esitatavad nõuded võivad olenevalt paigaldusviisist, näiteks õhuliinide või maakaablite puhul, varieeruda. Kaablite paigaldus on põhjalikult määratletud kaabeldusstandardites, mida on aastate jooksul arendatud, et tagada paigalduse ühtlane kvaliteet. Lisaks standarditele on mõned kaablipaigalduse aspektid tootjapõhised, näiteks kaabli painderaadius ja komponentide koostedetailid. Seetõttu tuleb kaablite paigaldamisel lähtuda asjakohaste kaabeldusstandardite uusimatest versioonidest, kohalikest eeskirjadest ja kaablite andmelehtedest. Ebaselged küsimused tuleb lahendada koostöös kaablitootja ja pädevate asutustega, et tagada kaablite ohutu ja nõuetekohane paigaldus, kuna ka väikesed detailid võivad määrata erinevuse õnnestunud paigalduse ja kahjustatud kaablite vahel.⁵

Mõned olulisemad aspektid kaablite paigaldamisel:⁶

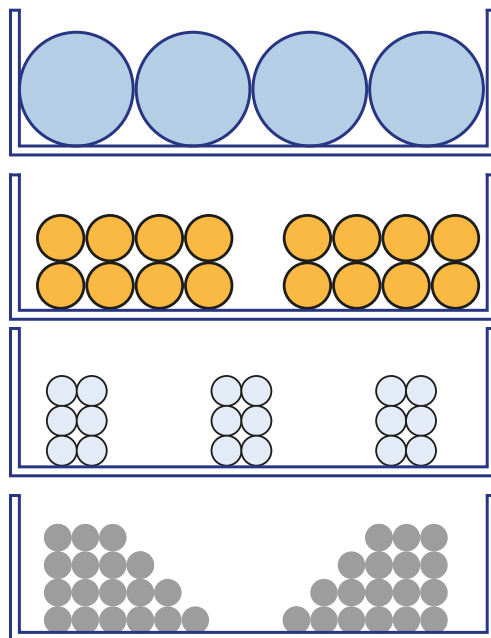
1. Erinevat tüüpi kaablid, nagu IT-kaablid ja toitekaablid tuleks teineteisest eraldi hoida (vt joonis 11).
2. Kaablid tuleb kinnitada kaablikandesüsteemi külge, et vältida nende liikumist mistahes tingimustes ja olukordades.
3. Ei tohi ületada kaablite tõmbekoormust.
4. Kaabli minimaalne painderaadius peab vastama tootja spetsifikatsioonile või asjakohastele tootestandarditele.
5. Kaablitele või kaablikimpudele rakendatavad tõmbekoormused peavad vastama tootja spetsifikatsioonile või asjakohastele tootestandarditele.
6. Vältida kaablite mehaanilisi vigastusi, muljumist ja muid kahjustusi.
7. Kaablikandesüsteemid ei ole mõeldud redeliks või käiguteedeks inimeste jaoks.
8. Kaablikandesüsteemi ei tohiks üle koormata.

⁵ Southwire Company 2005. Power Cable Installation Guide.

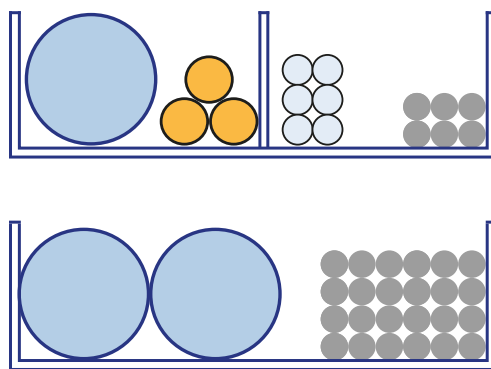
⁶ Nexans 2014. General Installation Guide.



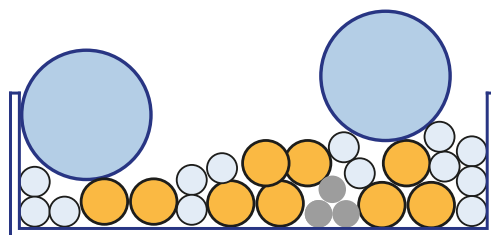
Ideaalne



Korrektne



Ebakorrektne



JOONIS 11

Korrektse, ideaalse ja ebakorrektse kaablipaigalduse näited. Erinevat tüüpi kaablid tuleb hoida lahus.

HOOLDUS

Kaablikandesüsteemi hooldusele pööratakse tähelepanu juba projekteerimise ja paigaldamise faasis. Hoolduse esimene ja kõige olulisem aspekt on kaablikandesüsteemi materjali ja pinnakatte valik, et tagada sobiv korrosioonikindlus ettenähtud keskkonnas. Valides keskkonnale vastava korrosioonikindluse, täidab kaablikandesüsteem oma eesmärgi kogu kavandatud kasutusaja jooksul. Teine samm on projekteerida süsteem vastavalt planeeritavale koormusele – see tähendab, et projekteerija peab süsteemi planeerides teadma eeldatavat kaablite koormust. Alakoormus on alati turvaline, selle ainus puudus on suurem esialgne kulu. Algselt üledimensioneeritud (alakoormatud) kaablikandesüsteemid loovad vajaduse tekkimisel võimaluse tulevikus lisada kaableid ja süsteemi komponente. Vastupidiselt alakoormusele on ülekoormus alati kahjulik. Halvimal juhul võib süsteem kokku variseda. Ülekoormus koormab süsteemi pidevalt ja tekitab lisa hooldusvajaduse. Eriti tõsine murekoht on ülekoormus koos dünaamilise koormusega (vibratsiooniga). Nõuetekohaselt ja korrektselt paigaldatud kaablikandesüsteem ei vaja üldjuhul täiendavat hooldust.

Kaablikandesüsteemide puhul on visuaalne kontroll sageli piisav hooldustegevus. Esmalt tuleks üle kontrollida kõik liitmikud, jätkukohad ja kinnitused, et vältida tarvikute või komponentide allakukkumist ning säilitada süsteemi projekteerimiskohane stabiilsus. Samuti tuleks kontrollida korrosiooni ilmnemist, eriti kohtades, kus puutuvad kokku kaks erinevat materjali ehk kus esineb galvaanilise korrosiooni oht. Kolmas visuaalse kontrolli eesmärk on tuvastada kaablikandesüsteemis võõrobjekte, kuna need võivad põhjustada nii lisakoormust kui ka galvaanilist korrosiooni. Viimaseks kontrollitakse deformeerunud komponente. Näiteks kaabliredeli deformatsiooni ja selle keevisõmbluseid.

Kui kaablikandesüsteem on kahjustatud, näiteks on murdunud keevisõmblus või deformeerunud külprofiil, tuleb kõik kahjustatud osad välja vahetada, võõrobjektid tuleb koheselt eemaldada, vältimaks ohtu allakukkuvatest osadest. Seejärel tuleb uurida kahjustuse tekke põhjust, et vältida uusi ja korduvaid kahjustusi. Kui põhjus on leitud, peavad kvalifitseeritud töötajad esimesel võimalusel rakendama parandusmeetmeid. Kõik hooldustööd peavad olema teostatud vastava väljaõppega spetsialistide poolt, et tagada ohutus ja vältida lisakahjustusi. Kahjustuste lokaalne parandamine ei ole mitte mingil juhul soovitatav. Selle asemel tuleb kogu kahjustatud detail, näiteks üks kaabliredel, asendada uuega, et tagada kaablikandesüsteemi ohutu töö.

Soovitatav on süsteemist eemaldada kõik kasutuses mitte olevad kaablid, et parandada töös olevate kaablite ventilatsiooni. Mitte vajalike kaablite eemaldamine vabastab kandevõimet tulevaste laienduste tarbeks. Elektriseadmed, kaablid ja juhtmed võivad vajada perioodilist hooldust. Planeeritud ja nõutavad tegevused peavad olema heakskiidetud käitaja või kaablitootja poolt.

MAANDAMINE JA ELEKTROMAGNETILINE ÜHILDUVUS

Maandamise peamine eesmärk on vältida puutepinget mistahes rikke korral. Lisaks puutepinge vältimisele loob maandus ohutu ja kontrollitud tee soovimatu pinge juhtimiseks maasse, võimaldades kaitse-süsteemidel rikke korral rakenduda. Maandus tagab potentsiaali ühtlustuse, hoides ära sädemete ja elektrikaare tekke detailide vahel. Kuigi paljud maanduse funktsioonid on suunatud tööohutusele, kaitseb maandus häirete eest ka telekommunikatsiooni- ja IT-süsteeme. Korrektne maandus kaitseb seadmeid ja nende kasutajaid, tagades ohutuse ning pikendades seadmete kasutusiga.

Maandus jaotatakse kaitsemaanduseks (PE) ja talitusmaanduseks (FE). Kaitsemaandus koosneb maanduselektroodist, peamaanduskogumlatist ja nende vahelisest maandusjuhist. Peamaanduskogumlat asub tavaliselt peajaotla

(toitekeskuse) lähedal. Talitusmaandus on seotud kaitsega häirete vastu, tagades ühendatud seadmete töökindluse. Just IT-seadmed vajavad sageli varjestust, mis on lähedane maapotentiaalile (= nullpotentsiaal). Talitusmaanduse kaabel peaks olema markeeritud eraldi värviga, näiteks must, ning kaitsemaanduse kaabli värvi (kollane-roheline) ei tohi kasutada talitusmaanduse jaoks. Soovitatav on maandada kaablikandesüsteem selle mõlemast otsast, et tagada nõuetekohane maandus ka olukordades, kus süsteem on kuskilt lahti ühendatud või katkenud.

Oluline on eristada maandamist ja potentsiaaliühtlustust. Potentsiaaliühtlustuse eesmärk on viia kõigi metallosade potentsiaal samale tasemele, et vältida detailide vahelist potentsiaalide erinevust. Potentsiaaliühtlustus ei taga automaatselt nullpotentsiaali maandusega. Potentsiaaliühtlustus maaga tekib juhul, kui potentsiaali ühtlustussüsteem on ühendatud kaitsemaanduspaigaldisega peamaanduskogumlati kaudu.

Eestis on maanduse ja potentsiaaliühtlustuse nõuded määratletud standardiga EVS-HD 60364. Maandamine on oluline ja seda tuleb teha hoolikalt, et vältida halvasti maandatud kaablikandesüsteemidest tulenevat elektrilöögi ohtu.

Elektromagnetiline ühilduvus (EMC) on seadme, seadmetiku või süsteemi võime toimida oma elektromagnetilises keskkonnas, tekitamata selles keskkonnas asuvatele muudele objektidele lubamatuid elektromagnetilisi häireid, mis tähendab, et seadmed saavad töötada üksteise lähedal ilma vastastikuste magnetiliste häireteta.⁷ Seda teemat käsitlevad Euroopa Liidu direktiiv 2013/35/EL ja standard EN 50174-2, mis kirjeldavad elektromagnetväljadest tulenevaid riske ning annavad tehnilisi nõuandeid elektromagnetiliste häirete (EMI) vältimiseks. Vabariigi Valitsuse määrus sätestab: *Töötervisehoiu ja tööohutuse nõuded elektromagnetväljadest mõjutatud töökeskkonnale, elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ja rakendusväärtused ning elektromagnetväljade*

möötmise kord magnetväljade piirnormid töötajate kaitsmiseks negatiivsete mõjude eest. Kaablikandesüsteem parandab EMC-toimivust, kui selle maandus ja potentsiaaliühtlustus on korras. Vastasel juhul halvendab kaablikandesüsteem EMC-toimivust. Korrektse paigalduse korral on kaablikandesüsteem maandatud ja potentsiaali ühtlus tagatud. Seetõttu toimivad kaablikandesüsteemid nendes paikneva elektroonikasüsteemi varjestusena. Tasub märkida, et spetsiifilist EMC-testimeetodit kaablikandesüsteemide jaoks ei eksisteeri⁸, mistõttu saab nende nõuetekohasust põhjendada mitme erineva testimismeetodi abil. Näiteks nii IEC 62110 kui ka EN 50413 esitavad meetodid elektri- ja magnetväljade mõõtmiseks.

TULEKINDEL PAIGALDUS

Eestis juhendub ehitiste rajamine siseministeriumi koostatud määrusest *Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded* [RT I, 23.02.2021, 6 - jõust. 01.03.2021] mis sätestab hoonete tuleohutusnõuded. Euroopa tasandil peetakse antud valdkonnas olulisteks dokumentideks standardit ISO 24679-1 (Tuleohutuse projekteerimine), eurokoodeksit EN 1993-1-2 ja ehitustoodete määrust 305/2011/EL.

Tulekindlate kaablikandesüsteemide projekteerimist ja paigaldamist käsitlevad mitmed piirkondlikud standardid, nagu EVS EN 1363-1, EVS EN 1366-11, DIN 4102-12 ja NPR 2576. [10] Piirkondlikke standardeid täiendavad arvukad kohalikud määrad, seadused ja juhised. Eri süsteemid, näiteks turvalagustus, tulekustutussüsteemid, suitsueemaldus jne, võivad kuuluda erinevate standardite ja määruste alla või on neile pühendatud eraldi jaotised üldistes standardites. Lisaks mitmekülgsetele eeskirjadele võivad ehitusettevõtted ja käitajad kehtestada oma spetsifikatsioonid nende hoonetes paigaldatavatele tulekindlatele komponentidele ja süsteemidele. Seetõttu peaksid kaablikandesüsteemi tootja, maaletooja, arendajad ja hoone käitajad tuleohutusnõuded

iga üksikjuhtumi puhul eraldi üle kontrollima, et tagada valitud kaabli ja kaablikandesüsteemi vastavus nõuetele ning ohutus nende kavandatud otstarbel.

Põhiprintsiibiks on, et kaablikandesüsteemid peavad toetama isekustuvaid või tulekindlaid kaableid ja võimaldama neil säilitada oma talitlusvõime tulekahju korral määratud aja jooksul. Teisisõnu peaks kogu komponentide kogum alates toiteallikast kuni lõpptoote pistikuni (kaablid, redelid/rennid, kandurid, tarvikud, harukarbid, liitmikud, kinnitusvahendid jne) tulekahju korral kindlaksmääratud aja vältel säilitama oma töövõime. Kui see on saavutatav, võib süsteemi lugeda määratud perioodi vältel tulekindlaks. Olukord, kus ainult kaabliredel või -renn peab tulele vastu, kuid kaabel mitte, oleks ebausaldusväärne.^{9, 10}

Selleks, et kogu kaablikandesüsteemi (sh kaableid) saaks lugeda tulepüsivaks, teatud aja vältel kuumust ja tuld taluvalks, tuleb süsteemi testida koos vooluringi ühendatud kaablitega. Kui metallkonstruktsiooni katsetatakse ahjus koos vooluringi ühendatud kaablitega, on võimalik tuvastada nõrgim lüli ja tulepüsivus aeg. Kuna mõnikord kaotab talitlusvõime üksik kaabel ja teinekord varisevad kokku metallkonstruktsioon, tagab selline terviklik katsetusmeetod usaldusväärsuse. Tervikliku testimismeetodit kasutades on võimalik deklareerida süsteemi usaldusväärne tulekindlus. See lähenemine on kooskõlas tehnilise aruandega CLC/FprTR 50658 („Kaablikandesüsteemid, mis toetavad isekustuvaid/tulekindlaid kaableid“), mis on planeeritud saama Euroopa standardiks tulekindlatele kaablikandesüsteemidele. Kõnealune tehniline aruanne täpsustab testimismeetodid, määramaks kindlaks süsteemi võimekust säilitada kaablite talitlusvõimet määratud aja jooksul kindlates tulekahju tingimustes. Praegu on see aruanne veel soovituslik, kuivõrd sellele pole omistatud standardi staatust, kuid on kinnitamise etapis.

Sarnaselt tehnilisele aruandele CLC/FprTR 50658 viitavad paljud piirkondlikud kaablikandesüsteemide tuleohutusstandardid (nt DIN 4102) tulekatsete tingimuste osas standardile ISO 834-1 „Tulekindluskatsed“. Näiteks nõuavad paljud piirkondlikud standardid standardis ISO 834-1 toodud temperatuurikõvera kasutamist, kus temperatuur [°C] = $345 * \log_{10} (8 * aeg [min] + 1) + 20$. Praktikas tähendab see, et ahju temperatuur peab 5 minuti möödudes olema 576 °C ja 60 minuti möödudes 945 °C, kuna temperatuur järgib logaritmilise kõvera seost ajas. Seetõttu annavad enamik piirkondlikke tuleohutusstandardeid sarnaseid ja võrreldavaid tulemusi, kui katses on kasutatud vooluringi ühendatud kaablid. Seejärel on võimalik määrata minimaalne aeg, mille jooksul talitluspidavus säilib (vt tabel 2).

Kaablikandesüsteem

Nagu eespool kirjeldatud, nõrgestab suur kuumus terast. Seetõttu on tulekahju korral kaablikandesüsteemi peamiseks väljakutseks selle mehaaniline deformeerumine. Kaablikandurid painduvad oluliselt, toetus kaob ja kaablid venivad katkemiseni, põhjustades vooluringi katkestuse (vt joonis 12).

Maksimeerimaks kaablite toetust tulekahju korral, on nii tugevade vahekaugus kui ka maksimaalne lubatud koormus sageli piiratud. Konkreetse tulekindla kaablikandesüsteemi maksimaalse tugevade vahekauguse ja lubatud koormuse peab kinnitama maaletooja või tootja. Üldjuhul kasutatakse tulekindlate paigaldiste puhul maksimaalse lubatud vahekaugusena 1,5 meetrit ning koormustaluvuse osas peetakse tulekahju tingimustes heaks suuruseks 20 kg/m.

Tulekindlates kaablikandesüsteemides ei tohi tavalisi kaableid paigutada tulekindlate kaablite kõrvale. Kui need on vaja paigaldada samale redelile või rennile, peavad need olema üksteisest eraldatud. Kriitilised kaablikandesüsteemid, näiteks ohutussüsteemide toitekaablid, tuleks paigaldada kõige kõrgemale positsioonile,

⁷ electronics-notes.com. What is EMC: Electromagnetic Compatibility Basics.

⁸ Hasselgren L. & Nilsson U. 2015. On the EMC Performance of Cable Trays. Electronic.se

⁹ Virta S. 2018. Palonkestävien johtojärjestelmien suunnittelu. Oulun ammattikorkeakoulu.

¹⁰ Heikkinen J. 2012. Palonkestävät sähköasennukset ja suunnittelu. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Lühim aeg, mille jooksul talitluspidevus on tagatud, minutites	Klass
30	E 30
60	E 60
90	E 90

TABEL 2

Talitluspidevuse klassid DIN 4102-12 standardi järgi.

teistest seadmetest ülespoole, et kokku varisevad konstruktsioonid ei tekitaks kriitilisele süsteemile lisakoormust. Vertikaalpaigaldiste puhul tuleb kaablid kinnitada klambritega mitte laiemalt, kui 300 mm ning iga 3500 mm järel peab olema kas tuletõkkemoodul või 300 mm pikkune horisontaalne sektsioon.

Kaablid

Teine tehniline väljakutse suure kuumuse korral on kaablite käitumine. Temperatuuri tõus kaablis võib põhjustada süsteemis pingelangust vase takistuse suurenemise tõttu. Pingelangus võib olla piisavalt suur, et ühendatud seadmed lülituvad tulekahju ajal välja. Tulekahjust tingitud elektrikatkkestuse vältimiseks tuleks tuleohtlikes rakendustes valida kaabli ristlõige kahe suuruse võrra suurem kui tavarakendustes. Vaskaablid toimivad tulekahju olukordades üldiselt paremini kui alumiiniumkaablid, sest vasel on kõrgem sulamispunkt.

Tulekindlaid kaableid on sageli võimalik tuvastada tähise FRHF (Fire Resistant Halogen Free - tulekindel halogeenivaba) märgise järgi. Tavaliselt on seda tüüpi kaablite värvus oranž või punane. Kõige usaldusväärsem viis veenduda kaabli sobivuses ja tulepüsivusklassis on vaadata kaabli tootja tootekaarti. Tavaliselt on tulekindlad kaablid mineraalisolatsiooniga vastates standarditele IEC 60702-1 ja 60702-2 või on tootja katsetanud kaableid vastavalt standarditele EN 50200, EN IEC 60331-1 ja EN 60332-1-2. [12]

Tulekindlad kaablid, mida kasutatakse süsteemides, mis peavad toite säilitamiseks

tulekahjule vastu pidama, peavad säilitama oma toimivuse määratud aja vältel ning kaabel ise ei tohi tule koormust suurendada. Kriitilise tähtsusega kaablid tuleb paigaldada eraldi redelile või rennile või need peavad olema muudest kaablitest eraldatud. Samuti on mõistlik arvestada kaablite pikkuse muutustega, mis tulenevad süsteemi mehaanilistest muudatustest tulekahju ajal. Tulekindlad kaablid peavad olema halogeenivabad, et vältida mürgiste gaaside teket põlemise käigus.¹¹

JÄTKUSUUTLIKKUS

Jätkusuutlikkus ja keskkonnaprobleemid on Meka Pro organisatsioonikultuuri loomulikud osad. Meka Pro rakendab ISO 14001 standardit ning lisaks sellele arvestab jätkusuutlikkusega ka laiemalt. Tootmises kasutatakse kvaliteetset toorainet ning materjalivood on kontrollitud. Kõik jäätmed (sh valtsimisõlid) suunatakse nõuetekohaselt ringlusse. Samuti jälgitakse energiatarbimist ning otsitakse pidevalt uusi võimalusi energiatarbimise suurendamiseks. Lisaks materjalidele ja energiale kantakse hoolt ka töötajate heaolu ja tööergonoomika eest.

Kvaliteetne tooraine, kulutõhus tootmine ja hoolikas projekteerimine tagavad tooted, mida on lihtne paigaldada ja mis taluvad korrektselt paigaldatuna suuri koormuseid. Meka Pro toodete kontrollitud kandevõime võimaldab minimeerida paigaldamiseks vajalike kaablikandesüsteemide komponentide hulka, mis omakorda vähendab transpordi kulusid. Meka Pro toodete kõrge kvaliteet, lihtne paigaldus ja kontrollitud kandevõime koos nõuetekohase

korrosioonikaitsega tagab toodetele pika eluea. Seetõttu minimeeritakse energiatarbimist ja jäätmeteket mitte ainult Meka Pro, vaid ka lõppkasutaja jaoks.

Inimeste tervise ja keskkonna kaitse kemikaalidest lähtuvate riskide eest on Euroopa Liidus paranenud tänu REACH-määrusele (EK nr 1907/2006). Kõnealune määrus (Kemikaalide registreerimine, hindamine, autoriseerimine ja piiramine) kehtib kõikidele keemilistele ainetele, mitte üksnes tööstusprotsessides kasutatavatele. Seetõttu mõjutab määrus enamikku EL-i ettevõteteid ja suurendab Euroopa keemiatööstuse konkurentsivõimet. Määruse täitmiseks peavad ettevõtted tuvastama ja haldama riske, mis on seotud mistahes kemikaalidega, mida nad EL-is toodavad või turustavad. Samuti peavad ettevõtted tõendama, kuidas nende aineid ohutult kasutada, ning edastama kasutajatele ohutuskaidid. Kui ettevõtte ei täida REACH-nõudeid, võivad ametiasutused piirata nende keemiliste ainete kasutamist. Meka Pro täidab täielikult kõiki REACH-määrusest tulenevaid kohustusi.

Teised olulised keskkonna alased ohtlikke aineid ja tööstustoodete jäätmeid puudutavad EU turgudel kehtivad direktiivid on RoHS 2 (direktiiv 2017/2102) ja WEEE (direktiiv 2012/19/EU).

Ohtlike ainete elektri- ja elektroonikaseadmetes kasutamise piirangu direktiiv (RoHS 2) keelab teatud ohtlike ainete (nt kaadium,

¹¹ Virta S. 2018. Palonkestävien johtojärjestelmien suunnittelu. Oulun ammattikorkeakoulu.



JÕONIS 12

Kaabliredeli tulekindluskatse. Temperatuuri tõustes 950°C ja 60 minuti möödudes on toed ja redelid silmnähtavalt deformeerunud.

plii ja elavhõbe) kasutamise elektri- ja elektroonikaseadmetes. Elektri- ja elektroonikaseadmete jäätmete direktiiv (WEEE) nõuab aga EL-i turul tegutsevatelt tootjatelt ringlussevõtu süsteemi korraldamist. Kuigi kaablikandesüsteemid ei kuulu otseselt RoHS 2 ja WEEE kohaldamisalasse, tegutseb Meka Pro keskkonnateadliku ettevõttena nende direktiivide raames. Meka Pro

kaablikandesüsteemid ei sisalda ohtlikke aineid ning ettevõtte tooted on täielikult ringlussevõetavad.

Meka rakendab ISO 45001 töötervishoiu ja tööohutuse juhtimissüsteemi standardit. Meka prioritseerib nii töötajate füüsilist kui ka vaimset heaolu, kusjuures vastutust töötingimuste jälgimise eest jagavad kõik töötajad, eriti

aga vahetud juhid. Meka töötervishoiu ja tööohutuse põhimõtted, rollid ning vastutusvaldkonnad on sätestatud regulaarselt uuendatavas tegevuskavas. Fookus on töötajate tervise hoidmisel ning õnnetusjuhtumite ja haigestumiste ennetamisel. Sisekontrollid ja auditid aitavad tagada töötervishoiu ja -ohutuse pidevat seiret. Tööohutus koolitus on kohustuslik kõikidele töötajatele. 6S-süsteemi



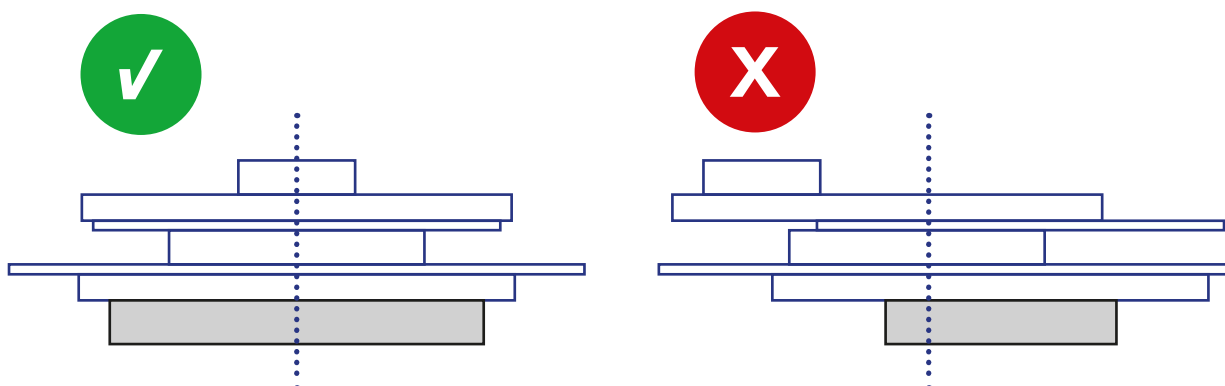
JÕONIS 13

Tooteid tuleb käsitleda hoolsalt, näiteks tõstmist tuleb alati teostada külgedelt, mitte kunagi otsest.



JOONIS 14

Kaablikandesüsteemiga töötades tuleb kasutada nõuetekohaseid kaitsevahendeid, et hoida ära võimalike vigastuste teket.



JOONIS 15

Toodete käsitlemisel peab raskuse jääma keskpunkti.

auditid tagavad ohutuse pidevat parendamist. Ohutusalastest tähelepanekutest teavitatakse vahetuid juhte ning nendega tegeletakse viivitamatult. Kõiki tähelepanekuid arutatakse operatiivkoosolekutel, kusjuures õnnetusjuhtumeid ja ohtlikke olukordi uuritakse põhjalikult edaspidiste ennetavate meetmete rakendamiseks.

KÄITLEMINE

Kõik Meka Pro tooted on nõuetekohaselt pakendatud sobimaks kokku mistahes transpordiliigiga, välja arvatud kaua kestva meretranspordiga. Eeltsingitud (PG) tooted nõuavad meretranspordil eri tähelepanu. Pakkide ja toodete kahjustamise vältimiseks on oluline pakkide hoolikas käsitsemine kogu tarneahelas, alates tehastest kuni paigalduseni. Transpordiks tohib kasutada ainult nõuetekohaseid seadmeid ning kõik veokis olevad pakid peavad olema korralikult kinnitatud, et vältida nende võimalikku liikumist transpordi ajal.

Ehitusplatsil tohib tooteid käsitseda ainult selleks mõeldud kahveltõstukiga. Igas transpordietapis peavad olema teada seadmete ohutuspiirangud ning kogu varustus peab olema piisava tõstevõimega. Pakke tuleb alati tõsta küljelt, mitte kunagi otsest (vt joonis 13). Igas etapis tuleb kanda nõuetekohaseid isikukaitsevahendeid vältimaks võimalikke vigastusi (vt joonis 14).

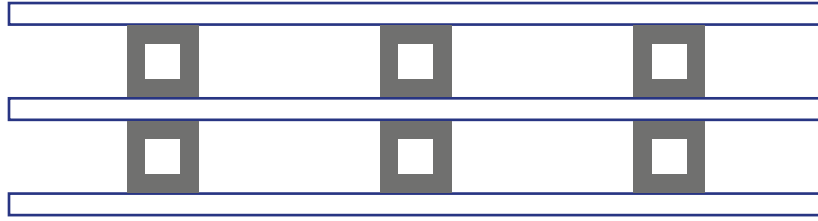
PAKENDAMINE

Kõik Meka Pro tooted on pakendatud viisil, mis sobib kokku nende transpordiks mistahes transpordiliigiga ning vaid kaua kestva meretranspordiga eeltsingitud (PG) tooted nõuavad eritählepanu. Ümberpakendamise vajaduse korral tuleks seda teha viisil, mis tagab ohutuse ja välistab toodete kahjustada saamise. Pikad sirged tooted, nagu redelid ja rennid, tuleks pakkida kogumina. Veose stabiilsuse tagamiseks peab selle raskuse asema kogumi keskel (vt joonis 15). Sõltuvalt toote

pikkusest tuleks tooteid toetada risttaladega tagamaks kahveltõstuki käppadele vajaliku vaba ruumi olemasolu (vt joonis 16).

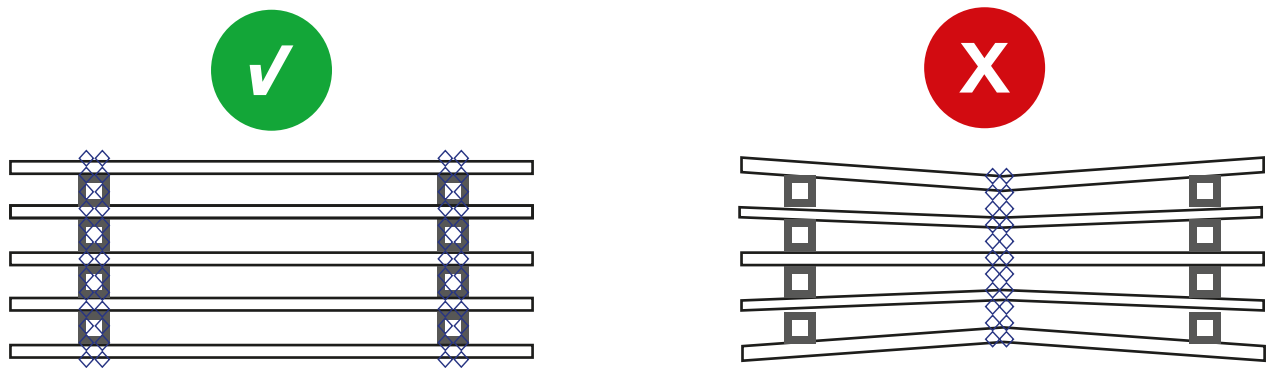
Pakid on soovitatav kinnitada korrosioonivabade kinnitusvahenditega, et vältida roosteplekkide teket toodetel ja roostevabast terasest toodete saastumist. Kinnitusvahendid tuleks asetada kohakuti veose risttaladega vältimaks liigset läbipainet ja sellest tingitud tootekahjustusi (vt joonis 17).

Lühemad ja väiksemad osad, näiteks liitmikud, tuleks pakkida sobiva suurusega alusele, et võimaldada kahveltõstuki kasutamist. Iga toode või pakend (karp, kott) peab olema pakendatud nii, et tooted oleksid võimalike kahjustuste eest kaitstud.



JOONIS 16

Soovituslik on kasutada toodete vahel risttalasid, et tagada transpordiks vajalik vaba ruumi olemasolu.



JOONIS 17

Tooted tuleks siduda risttalade juurest korrosioonivabade kinnitusvahenditega vältimaks roosteplekke ja liigset painet kogumile.

HOIUSTAMINE

Kaablikandesüsteemi komponentide ladustamine sõltub materjalist, pinnakattest ja pakendist. Ideaalis tuleks võimaluse korral kõiki tooteid hoida katuse all kuivas kohas. Kuna katusealune ladustamine ei ole alati võimalik või tasuv, tutvustavad järgmised lõigud ladustamise põhiprintsiipe ja selleks sobivaid keskkondi tagamaks toodete säilimise kogu ladustamise ajal. Üldise juhisenäitega peaks ladustamisala olema mõistlik ja asuma nii, et täiendav käsitlemine oleks minimeeritud. Iga liigutus on potentsiaalne risk ja kahjustuste allikas. Kõiki tooteid tuleks hoiustada selliselt, et vältida vigastusi ja toodete kahjustamist ladustamise ning transpordi käigus.

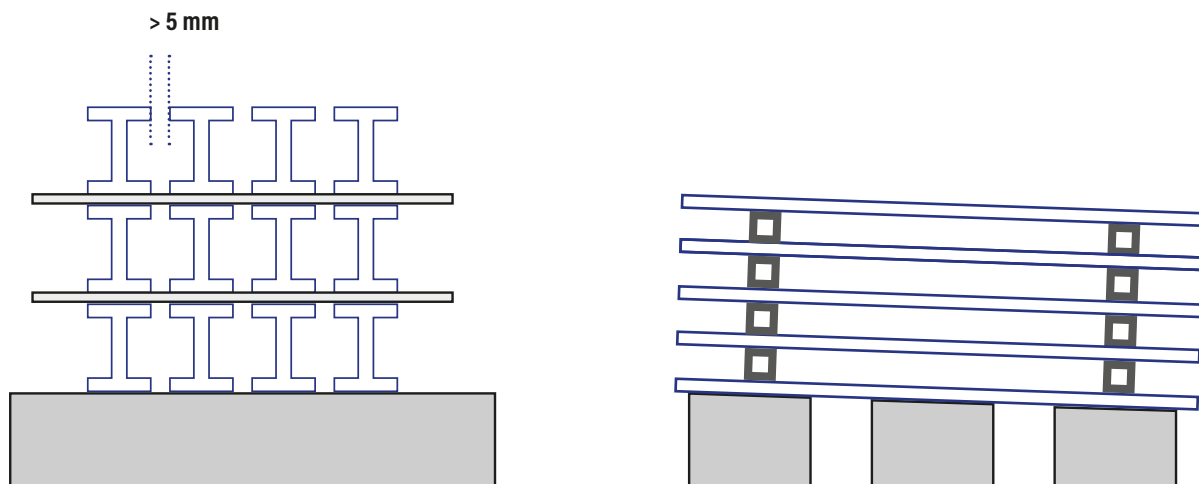
Kuumtsingitud kastmismeetodil (HDG), XPG, roostevabast terasest ja mittemetallist tooteid võib hoiustada väljas ilma katmiseta, kui siseruumides ladustamine pole võimalik. Siiski on soovitatav mustuse vältimiseks katta tooted hingava kattega. Roostevabast terasest tooted peavad olema muudest terase liikidest eraldatud. Kuigi eelnimetatud materjale võib hoida väljas, tuleb tagada vee äravool, et vältida liigse vee kogunemist, mis kiirendab oksüdeerumist ja võib põhjustada ladustamisplekke. Vee kogunemine võib tekkida ka kondensatsioonist, kui terase temperatuur on madalam ümbritseva keskkonna kastepunktist. Kondenseerumine võib toimuda ka siis, kui ladustamiskohas on suur õhuniiskus. Ka maapinnalt tõusev vesi võib tekitada kahju, mistõttu tuleks pakke ja tooteid hoida maapinnast vähemalt 30 cm kõrgusel, mis vähendab sellist ohtu ja parandab õhuringlust

(vt joonis 18). Üks võimalus vee kogunemise vältimiseks ja äravoolu tagamiseks, on tõsta paki üks ots teisest veidi kõrgemale (vt joonis 18). Alati tuleb kasuks ka õhuringlust mittetakistava veekindla katte kasutamine. Niiskus ja halb õhuringlus võivad põhjustada tsingitud toodetel valget, musta või vahepealset halli korrosiooni, mida nimetatakse märgladustamisplekkideks või valgeks roosteks.¹²

Ladustamisplekid mõjutavad üldjuhul tsingitud tooteid, eriti värskelt tsingitud terasdetailide, millel puudub veel kaitsev tsinkkarbonaadi kiht. Tsinkkarbonaadid on tsinkpaatina, tsingi pinnal asuva õhukese korrosioonivastase kaitsekihi, peamised komponendid.¹³ Kui värskelt tsingitud teras-konstruktsioon puutub kokku niiskusega ja on umbses keskkonnas, reageerib tsink

¹² Worldwide Steel Buildings. Storage stain.

¹³ Galvanizers Association of Australia. Wet Storage Stain (White Rust)



JOONIS 18

Kaablikandesüsteemi toodete korrektne hoiustamine, vähemalt 30 cm maapinnast ja kerge kaldega.

niiskusega ning moodustab tsinkhüdroksiidi, mis kiirendab tsingi korrosiooni ja tekitab märgladustusplekke.

Märgladustusplekkide (valge rooste) protsess peatub, kui niiskus eemaldatakse ja õhuringlust parandatakse. Väiksemad valge rooste plekid kaovad tavaliselt iseenesest ning kogu valge rooste on võimalik eemaldada keemiliselt või mehaaniliselt harjamise või pesemise teel.¹⁴ Valge rooste võib välja näha murettekitav, kuna selle maht võib olla 100-500 korda suurem tsingi mahust¹⁵, kuid selle mõju korrosioonikaitse elueale on sageli siiski tühine, välja arvatud galvaaniliselt tsingitud toodete puhul, kus see võib olla kahjulik õhukese tsingikihi tõttu. Kui hoiustamistingimusi ei muudeta ning niiskus säilib koos halva õhuringlusega, muutub valge

rooste esmalt mustaks ja lõpuks punaseks. Vastavalt kuumtsinkimise standardile ISO 1461 ei ole valge rooste üksinda reklamatsiooni aluseks.¹⁶

Eeltsingitud (PG) ning alumiiniumtooteid tuleks alati hoiustada katuse all, kuivas ja ventileeritud kohas tagamaks toodete kaubanduslik väärtus ja korrosioonikaitse. Kondentsi kogunemise võimalus nendes pakendites peab olema välistatud. Pakid peavad võimaldama piisavat õhuringlust, vältimaks ladustamisplekkide teket. Kõiki kottidesse, karpidesse, kartongist kastidesse või muudesse sarnastesse pakenditesse pakitud tooteid tuleb hoida katuse all kuivas ja ventileeritud kohas, et säilitada nende väärtus, funktsionaalsus ja korrosioonikaitse. Kõik pakendatud tooted on soovitatav hoida

pakendis kuni paigaldamiseni, et vältida vigu paigaldamisel. Kuigi tooted võivad tunduda sarnased, võivad nende tugevusomadused või korrosioonikaitse tasemed olla erinevad. Kuna tooted on väliselt sarnased, tuleb hoolega järgida pakendi markeeringut, vältimaks valede toodete paigaldust.

¹⁴ Leino T., Häkkinen-Rönholm E., Nieminen J., Koukkari H., Hieta J., Vesikari E. & Törnqvist J. 1998. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research notes 1937.

¹⁵ Hirn A. 2019. Galvanizing Handbook. Nordic Galvanizers.

¹⁶ Hirn A. 2019. Galvanizing Handbook. Nordic Galvanizers.

PROJEKTEERIJA, ARENDAJA JA INSPEKTEERIJA / MATERJALIDE OMADUSED JA NENDE MÕJU

Valitud materjal ja selle pinnakatte määravad nii kaablikandesüsteemi välimuse kui ka korrosioonikindluse. Seetõttu on nii materjali kui ka katte valik süsteemi projekteerimise oluline osa, aidates tagada süsteemi piisava kasutusea ja välimuse säilimise ettenähtud keskkonnas. Kuigi esteetika on oluline, tuleks keskenduda eelkõige korrosioonikaitsele, kuna juba paigaldatud kaablikandesüsteemi hooldamine korrosiooni vastu on sageli ebamõistlik. Korrosioonikaitsega tuleb arvestada juba süsteemi projekteerimisel, valides materjalid ja katted süsteemi keskkonnast lähtuvalt. Õige materjali ja pinnakatte valikul, on Meka Pro valmistatud kaabliredelid ja -rennid kasutatavad kõikides rakendustes ja keskkondades.

KESKKONNAD

Korrosioon on materjali lagunemine materjali reageerimise tõttu ümbritseva keskkonnaga. Seetõttu on keskkonna roll korrosiooniprotsessis ilmne, näiteks kiireneb korrosiooniprotsess temperatuuri tõustes. Teised olulisemad korrosiooni mõjutavad kliimategurid on suhteline õhuniiskuskus ja saaste. Tavaliselt peab suhteline õhuniiskuskus olema üle 60%, et korrosiooniprotsess saaks alata. Näiteks Soomes on välisõhu suhteline niiskuskus peaaegu alati üle 60%. Lämmastikoksiidid on üks näide saasteainetest, mis võivad korrosiooniprotsessi kiirendada. Igasugune mustus materjali pinnal

on korrosioonikaitse seisukohalt eriti halb, kuna see takistab pinna kuivamist ning võib toimida elektrolüüdina korrosiooniprotsessis.

Tabel 3 kajastab korrosiooniklasse ning sise- ja väliskeskkondade näiteid vastavalt standardile ISO 12944. Nagu tabelist näha, on terase paksuskadu koetavas elutoas alla 1,3 µm aastas, samas kui ujula vahetus läheduses võib see ulatuda 80 µm-ni aastas. Vastavad tsiingi kaod oleksid 0,1 ja 4,2 µm aastas, mis on veenev tõend tsiingi tõhususest korrosioonikaitseks.

Tabel 4 kajastab korrosioonikindluse klassifikatsiooni vastavalt standardile IEC 61537. Tabelis on loetletud kõige sagedamini kasutatavad pinnatöötlustused ja materjalid. Neid saab kasutada võrdlusalusena teiste materjalide ja pinnatöötluste puhul, mida mõõdetakse nende klassifitseerimiseks. Eri klassidele vastavust kontrollitakse kas tsiingikihi paksuse mõõtmisega vastavalt standardile ISO 2178 või ISO 2808 või neutraalse soolapihustustesti (NSS) läbiviimisega ISO 9227 standardist lähtuvalt kindla ajavahemiku jooksul. Soolapihustustesti läbiviimisel loetakse proov läbinuks, kui pinna korrosioon ei ole ületanud standardi ISO 10289 reitingut 4.

Erinevalt standardist ISO 12944 ei käsitle IEC 61537 erinevaid korrosioonikeskkondi ega

anna viiteid materjalide aastasele kulumisele. Esitatud on üksnes võrdlusmaterjalid ning projekteerija peab ise otsustama, kas vastav materjal sobib kavandatud keskkonda või mitte. Võrdluseks on tabelis 5 esitatud Meka Pro tooted, mis on klassifitseeritud nii standardi ISO 12944 kui ka IEC 61537 alusel.

Keskkonna happelisus või aluselisus mõjutab samuti materjalide korrosioonikäitumist. Vesilahuse happelisust määratletakse pH väärtuse kaudu. Kui vedeliku pH on väiksem kui 7, on tegemist happelise lahusega, ning kui pH on suurem kui 7, on lahus aluseline. pH väärtusel 7 on lahus neutraalne. Neutraalses vedelikus (puhtas vees) on üks vesinikioon (H⁺) ja üks hüdroksiidioon (OH⁻). Happelistes lahustes on ülekaalus vesinikioonid (H⁺), samas, kui aluselistes lahustes on ülekaalus hüdroksiidioonid (OH⁻). Oluline on märkida, et pH skaala on logaritmiline – ühe ühiku muutus tähendab kümnekordset muutust vedeliku happelisuses või aluselisuses. Happeliste ainete näideteks on lämmastikhape, väävelhape ja soolhape. Aluselistes ainete näideteks on ammoniaak, kaltsiumhüdroksiid ja naatriumhüdroksiid.

Kuumtsingitud teras sobib keskkonda, kus pH-tase on vahemikus 6-12,5, samas kui alumiinium sobib pH-vahemikku 4-8,5.

Keskonnaklassid Korrosiivsus	Informatiivsed näited tüüplistest sise- ja väliskeskkondadest ^{17, 18, 19}	Madala süsiniku- sisaldusega teras Paksuskadu [$\mu\text{m/a}$]	Tsink Paksuskadu aastas [$\mu\text{m/a}$]
C1 Väga madal	Sisekeskkond: köetavad ruumid, kus on madal suhteline õhuniiskus ja väga madal saastetase, näiteks kontorid, koolid, muuseumid. Väliskeskkond: kuiv piirkond, kus saaste tase on väga madal ja niiskuserioodid lühikesed, nt teatud kõrbed, Kesk-Artika/Antarktika.	≤ 1.3	≤ 0.1
C2 Madal	Sisekeskkond: kütmata ruumid, kus temperatuur ja suhteline õhuniiskus kõiguvad. Kondensatsiooni esineb harva ja õhusaaste tase on madal, nt ladu, spordisaal. Väliskeskkond: mõõdukas kliimavöönd, vähese saastatusega õhukeskkond ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g/m}^3$), nt: maapiirkonnad, väikelinnad. Kuiv või külm kliimavöönd, õhukeskkond, kus niiskus kestab lühikest aega, nt kõrbed, subarktilised piirkonnad.	$> 1.3 - 25$	$> 0.1 - 0.7$
C3 Keskmine	Sisekeskkond: ruumid, kus esineb mõõdukat kondensatsiooni ja saastet, nt toiduainete töötlemisettevõtted, pesumajad, õlletehased, piimatootmisettevõtted. Väliskeskkond: mõõdukas kliimavöönd, keskmise saastetasemega ($\text{SO}_2: 5 \mu\text{g/m}^3$ kuni $30 \mu\text{g/m}^3$) või mõningase kloriidide mõjuga õhukeskkond, nt linnapiirkonnad, madala kloriidide sadestumisega rannikualad, subtroopilised ja troopilised vööndid, kus õhukeskkond on madala saastetasemega.	$> 25 - 50$	$> 0.7 - 2.1$
C4 Kõrge	Sisekeskkond: ruumid, kus esineb sageli kondensatsiooni ja on kõrge saastetase, nt tööstuslikud tootmishooned, ujulad. Väliskeskkond: mõõdukas kliimavöönd, tugevalt saastunud õhukeskkond ($\text{SO}_2: 30 \mu\text{g/m}^3$ kuni $90 \mu\text{g/m}^3$) või kloriidide märkimisväärne mõju, nt saastunud linnapiirkonnad, tööstuspiirkonnad, rannikualad, kus puudub kokkupuude mereveega (soolauduga), tugev mõju jäätörjesooladelt, subtroopilised ja troopilised vööndid, kus õhukeskkond on keskmise saastetasemega.	$> 50 - 80$	$> 2.1 - 4.2$
C5 Väga kõrge	Sisekeskkond: ruumid, kus esineb väga tihti kondensatsiooni ja/või kus on tootmisprotsessist tingitud suur saastatus, nt kaevandused, tööstuslikuks otstarbeks kasutatavad kaevandused, subtroopilistes ja troopilistes piirkondades asuvad ventileerimata hooned. Väliskeskkond: Mõõdukad ja subtroopilised vööndid, väga suure saastetasemega õhukeskkond ($\text{SO}_2: 90 \mu\text{g/m}^3$ kuni $250 \mu\text{g/m}^3$) ja/või kloriidide märkimisväärne mõju, nt tööstuspiirkonnad, rannikualad, tuulevarjus rannikuäärsed alad.	$> 80 \text{ to } 200$	$> 4.2 \text{ to } 8.4$
CX Ekstreemne	Sisekeskkond: ruumid, kus esineb peaaegu pidev kondensatsioon või pikkade perioodide jooksul avatud äärmuslikule niiskusele ja/või tootmisprotsessist tulenevale tugevale saastele, nt ventileerimata hooned niisketes troopilistes piirkondades, kuhu tungib sisse välisõhu saaste, sealhulgas õhus levivad kloriidid ja korrosiooni soodustavad tahked osakesed. Väliskeskkond: Subtroopilised ja troopilised vööndid (väga kõrge niiskus), väga kõrge saastetasemega õhukeskkond (SO_2 üle $250 \mu\text{g/m}^3$), sealhulgas kaasnev ja tööstuslik saaste ja/või kloriidide tugev mõju, nt tööstuspiirkonnad, ranniku- ja avamerepiirkonnad, kus esineb aeg-ajalt kokkupuudet soolauduga.	$> 200 - 700$	$> 8.4 - 25$

TABEL 3
ISO 12944 standardist lähtuvad korrosioonikategooriad.

¹⁷ Hot Dip Galvanizers Association Southern Africa. 2015. Hot Dip Galvanized Information Sheet No.8: Corrosion of Zinc – Corrosivity of Atmospheres.
¹⁸ SteelConstruction.info. Corrosion of Structural steel.
¹⁹ Teräsrakenneyhdistys. 2014. Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden käyttöikä.

Klass	Võrdlus - metalne pinnakate või roostevaba teras
1	Elektrolüütiliselt tsingitud minimaalse kihipaksusega 5 µm või eeltsingitud pinnakate tähisega Z100 või Z140.
2	Elektrolüütiliselt tsingitud minimaalse kihipaksusega 12 µm või eeltsingitud pinnakate tähisega Z200
3	Eeltsingitud pinnakate tähisega Z275, keskmise kihipaksusega 20 µm
4	Eeltsingitud pinnakate tähisega Z350, keskmise kihipaksusega 25 µm
5A	Eeltsingitud pinnakate tähisega Z600, keskmise kihipaksusega 42 µm
5B	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 45 µm
6	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 55 µm
7	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 70 µm
8	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 85 µm
9	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 110 µm
10	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 140 µm
11	Kuumtsingitud minimaalse kihipaksusega 165 µm
II	Roostevaba teras 1.4301 (304) ja 1.4307 (304 L)
III	Happekindel roostevaba teras 1.4401 (316) ja 1.4404/1.4435 (316 L)

Märkus: väärtused vastavad standarditele ISO 2081, ISO 4042, ISO 3575, ISO 4998, EN 10346, ISO 10684 ja ISO 1461.

TABEL 4
 Korrosioonikindluse klassifikatsioon standardi IEC 61537 järgi.

Galvaaniline korrosioon

Galvaaniline korrosioon ei ole võimalik:

- metallides, millel puudub potentsiaalide erinevus elektrodide vahel
- ilma elektrilise kontaktita
- ilma elektrolüüdita

METALL1 = METALL2

ISOLATSIOON

PINNAKATE

ILMA ELEKTROLÜÜDITA

JOONIS 19
 Galvaaniline korrosioon ja selle ärahoidmine.

See tähendab, et alumiinium talub happelisi vedelikke paremini, samas kui kuumtsingitud teras on vastupidavam aluselistes keskkondades. Kloriid põhjustab alumiiniumi punktkorrosiooni ning vääveldioksiid ja lämmastikoksiidid on riskiks tsinkkatetele. Kuigi roostevaba terase kroomisisaldus muudab selle korrosioonile vastupidavaks, ei ole see täielikult korrosioonikindel. Äärmuslikud pH-väärtused seavad väljakutseid ka roostevabale terasele. Roostevaba terase laia tootevaliku tõttu tuleks nende korrosioonikindlust uurida igal juhtumil eraldi. Rusikareeglina muudab molübdeenisisaldus (HST) happekindla roostevaba terase hapetele vastupidavamaks.

KORROSIOON

Korrosioon on loomulik protsess, mis hävitab järk-järgult materjale (tavaliselt metalle) nende keskkonnas toimuvate keemiliste ja elektrokeemiliste reaktsioonide kaudu. Kaks levinud korrosioonitüüpi on keemiline korrosioon ja galvaaniline korrosioon. Nähtust, kus materjalid lahustuvad otseselt söövitava keskkonna (vedelikud, happed, lahustid jne) tõttu, nimetatakse keemiliseks ehk üldiseks korrosiooniks. See korrosioonitüüp hävitab materjali pinda ühtlaselt või lokaalselt ühes piirkonnas. Palju levinum korrosioonitüüp on galvaaniline korrosioon, mis on elektriliste ja keemiliste nähtuste kogum. Galvaaniline korrosioon toimub ainult seal, kus erineva elektroodipotentsiaaliga materjalid on elektrolüütide või juhtiva keskkonna kaudu elektriliselt ühendatud. Kui potentsiaalide erinevus ja elektrolüüdid on olemas, hakkab vähem aktiivne (anood) korrodeeruma ning aktiivsem (katood) kaitseb end korrosiooni eest. Seda protsessi illustreerib joonis 19 koos meetoditega galvaanilise korrosiooni vältimiseks. Nagu näidatud, kaob galvaanilise korrosiooni eeltingimus, kui protsessist isoleeritakse üks tegur, st galvaaniline korrosioon ei ole võimalik, kui süsteemist kõrvaldatakse elektriline ühendus, elektrodidevaheline potentsiaalide erinevus või elektrolüüdid.

Galvaanilise korrosiooni kiirus sõltub lahuse elektrijuhtivusest, materjalide elektrodipotentsiaalide erinevusest ja materjalide pindalade suhtest. Elektrijuhtivusel koos

Keskkonnaklass ISO12944	Meka tooted	Kategooria IEC 61537
C1-C2	Alumiiniumtooted: • Materjali kirjeldus Meka toote nimes: AD, AL	N/A
	Elektrolüütiliselt tsingitud tooted pinnakattega 5-8 µm: • Pinnakatte kirjeldus Meka toote nimes EG	1
	Eeltsingitud lehtmetailist tooted kattepaksusega 20 µm: • Pinnakatte kirjeldus Meka toote nimes: PG	3
C3-C4	Tootmisjärgselt kuumtsingitud tooted, kattepaksusega 45-55 µm: • Pinnakatte kirjeldus Meka toote nimes: HDG Tsingipõhise spetsiaalse kattega terasest tooted: • Pinnakatte kirjeldus Meka toote nimes: XPG	6
C5-CX	Happekindlad ja roostevabad tooted (AISI 316L/HST): • Materjali kirjeldus Meka toote nimes: HST	III

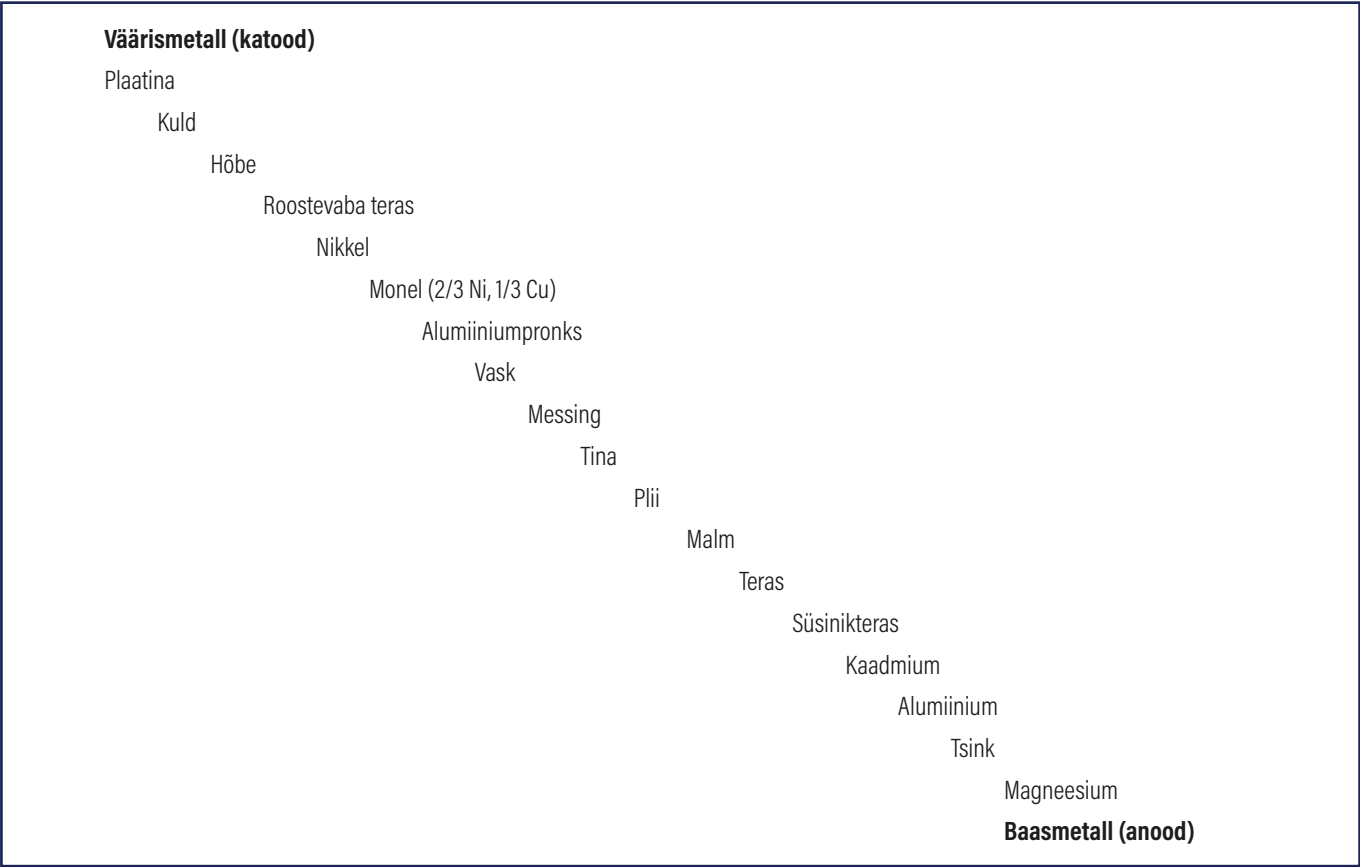
TABEL 5
Meka Pro toodete ühildumine erinevate korrosioonikategooriatega.

pH-väärtusega on suur mõju galvaanilise korrosiooni intensiivsusele ja korrosiooni jaotumisele. Kui juhtivus on suur (nt merevesi, väävelhape või küllastunud naatriumilahus), jaotub galvaaniline korrosioon pinnal ühtlaselt.

Kui elektrijuhtivus on väike (nt destilleeritud vesi ja tarbevesi), toimub galvaaniline korrosioon materjalide ühenduskoha lähedal. Elektrodipotentsiaali mõjutavad mitmed tegurid, nagu temperatuur, voolukiirus jne; ainus vedelik, mille puhul on need tegurid põhjalikult dokumenteeritud, on merevesi. Galvaanilise rea lihtsustatud versioon on esitatud tabelis 6. Tasub märkida, et elektrodipotentsiaali suurus ei ennusta korrosiooni kiirust, see viitab vaid sellele, et vähem aktiivne metall (anood) korrodeerub kiiremini.

Pindalade suhe on galvaanilise korrosiooni puhul väga oluline tegur. Mida suurem on

katood võrreldes anoodiga, seda tugevam on galvaaniline vool ja seeläbi ka korrosioon. Sellega tuleb materjalide valimisel arvestada. Kui vähem aktiivne metall (anood) on kasutuse seisukohalt oluline, ei tohiks see olla pindalalt väiksem, kui aktiivne metall (katood). Vedelikes mõjutavad korrosiooni soolsus, hapnikusaldus ja voolukiirus. Soolane vesi on tõhus elektrolüüt ja toimib seetõttu korrosiooni kiirendina. Voolamine soodustab korrosiooni, tuues pinnale rohkem hapnikku ja kandes reaktsioonisaadused minema. Sügavamas vees toimub korrosioon sageli aeglasemalt tänu väiksemale hapnikusaldusele. Korrosioon pinnases sõltub mitmesugustest teguritest, nagu niiskusesisaldus, mineraalide sisaldus, pH, hapniku kättesaadavus, eritakistus ja mikrobioloogiline aktiivsus. Need parameetrid võivad varieeruda suurel määral nii vertikaalses kui ka horisontaalses suunas, samuti sesoonselt, mistõttu tuleks korrosiivsust iga juhtumi puhul kohapeal eraldi kontrollida.



TABEL 6
Lihtsustatud galvaaniline ahel soolvees (+25°C).

ALUMIINIUM

Alumiiniumi tihedus on vaid üks kolmandik terase omast (2.7 g/cm3), mistõttu nimetatakse alumiiniumi sageli kergmetalliks. Puhas alumiinium on nõrk, selle tõmbetugevus on umbes 90 MPa. Alumiiniumi tugevust saab märkimisväärselt suurendada, legerides seda ühe või mitme elemendiga, nagu näiteks räni ja magneesiumiga. Ka alumiiniumi töötlemine muudab selle tugevamaks, näiteks külmaltsimine võib puhta alumiiniumi tugevust kahekordistada. Madal tihedus kombineerituna legerimise või töötlemisega annab alumiiniumile suure tugevuse ja kaalu suhte. Samuti on märkimisväärne, et alumiiniumi tugevus ei muutu madalamatel temperatuuridel ning alumiiniumil puudub plastilisuse-rabeduse

üleminekutemperatuur, mis on omane enamikule terastele. Seetõttu kasutatakse alumiiniumi sageli krüogeensetes rakendustes.

Lisaks suurele tugevuse ja kaalu suhtele ning mittemagnetilistele omadustele on alumiiniumil paljudes tingimustes ka suur korrosioonikindlus tänu selle pinnale ise tekkivale mikroskoopilisele alumiiniumoksiidi kihile. Uue alumiiniumpinna oksiidikiht on umbes 2,5 nm paksune ja aja jooksul võib see kasvada paksemaks kui 10 nm. See oksiidikiht on isetaastuv, st kriimustused ja muud mehaanilised vigastused kaetakse kiiresti uue kihiga. Kiht on stabiilne, kui ümbritseva keskkonna pH on vahemikus 4 kuni 8,5. Alumiinium on korrosioonikindel paljude hapete suhtes, samas kui leelised on alumiiniumile

söövitavad hävitades oksiidikihi. Tänu sellele oksiidikihile ei vaja alumiinium tavaliselt mingit täiendavat viimistlust.²⁰

Alumiinium on pehme ning seetõttu kergesti töödeldav. Seda saab lõigata, ekstrudeerida, treida, liimida ja keevitada (kui keevitamisel arvestatakse oksiidikihiga). Alumiiniumi soojustpaisumine on märkimisväärne, eriti võrreldes terasega. Alumiinium on ka keskkonnasõbralik materjal. Alumiinium on 100% ulatuses lõpmatult taaskasutatav ja 75% kogu toodetud alumiiniumist on pidevalt ringluses. Alumiiniumkangi tootmine ringlussevõetud alumiiniumist nõuab vaid 5% energias, mis kuluks sama alumiiniumkangi tootmiseks esmasest alumiiniummaagist.

²⁰ Davis J.R. 1999. Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys (#06787G). ASM International ®.

ROOSTEVABA TERAS

Terase ja roostevaba terase peamine erinevus seisneb kroomisisalduses. Roostevaba teras sisaldab vähemalt 10,5% kroomi, mis reageerib ümbritseva hapnikuga, moodustades terase pinnale õhukese oksiidikihi. Seda kiiret reaktsiooni nimetatakse passiiveerimiseks. Oksiidikiht on isetaastuv – kriimustused ja muud mehaanilised kahjustused kaetakse kiiresti uue kihiga, eeldusel, et kroomi on piisavalt saadaval. Kui aga terase pinnal ei ole piisavalt kroomi, ei saa uus kroomoksiidikiht tekkida ning roostevaba teras hakkab roostetama. Sellisel juhul muutub roostevaba teras vastuvõtlikuks erinevatele korrosiooni vormidele, nagu üldkorrosioon, galvaaniline korrosioon ja täppkorrosioon.

Roostevabad terased jagatakse sageli nelja kategooriasse: austeniitsed, ferriitsed, martensiitsed ja dupleksterased. Tööstuses kõige sagedamini kasutatav tüüp on austeniitne teras tänu selle tugevale roostekaitsele.²¹ Ferriitne roostevaba teras sisaldab samuti piisavalt kroomi kaitsva kihi tekitamiseks, kuigi see on pehme ning sõltuvalt täpsest koostisest võib selle keevitamine olla keeruline. Martensiitne roostevaba teras sisaldab kroomi vaid minimaalsel määral, mistõttu on selle korrosioonikaitse roostevabade teraste hulgas kõige nõrgem ning selle keevitamine võib sageli olla väga väljakutsuv. Kõrglegeeritud dupleksteraste (ferriit-austeniitsete) koostis ja sellest tulenevalt ka omadused on varieeruvad. Väga sageli on need magnetilised, tugevad ja hea korrosioonikindlusega.

Teine viis roostevaba terase klassifitseerimiseks on molübdeeni (Mo) sisalduse järgi. Molübdeen sulami koostises suurendab terase korrosioonikaitset ja on eriti vastupidav kloriidide põhjustatud täppkorrosioonile. Seda molübdeeni legeeritud terast nimetatakse happekindlaks roostevabaks teraseks (HST) ning seda kasutatakse laialdaselt tööstuses, kus käideldakse happeid ja sooli. Molübdeenivaba roostevaba terast tuntakse lühendiga RST. Näide HST ja RST erinevusest: toatemperatuuril

on roostevaba teras 1.4301/X5CrNi18-10/AISI304 (RST) vastupidav vaid 3%-lisele happele, samas kui 1.4404/X2CrNiMo17-12-2/AISI316 (HST) on vastupidav kuni 20%-lisele happele. Loomulikult korrodeeruvad teatud keskkondades nii HST kui ka RST. Mõlemad, nii 304 (RST) kui ka 316 (HST), on standardis IEC-EN 61537 märgitud võrdlusmaterjalidena (vt tabel 4). Lisaks paremale vastupidavusele täppkorrosiooni vastu suurendab molübdeen terase karastatavust ja tugevust.

TSINKKATTED

Korrosioonikaitseta teras korrodeerub pea igas keskkonnas. Tsingiga katmine on laialdaselt kasutatav meetod terase kaitsmiseks, pakkudes alusteraale nii füüsilist barjääri kui ka katoodkaitset. Tsingikiht loob metallist kaitsekihi, mis takistab niiskuse kokkupuudet terasega, hoides ära terase korrosiooni, kuivõrd korrosioon ei ole võimalik ilma otsese kokkupuuteta niiskusega. Küll aga võib tsink ise niiskuse ja õhusaasteainete mõjul oma madalama elektroodipotentsiaali tõttu korrodeeruda. Seetõttu on füüsilise barjääri eluiga võrdeline tsingi kihi paksusega. Füüsilise barjääri eluiga saab pikendada tsingikihti värvides, st luues duplekskaitse. Lisaks füüsilisele kaitsele kaitseb tsingikiht terast galvaaniliselt (katoodkaitse). See tähendab, et tsink ja teras moodustavad niiskuse olemasolul galvaanilise paari ning tsink "ohverdab" end paljastunud terase vahetus läheduses, näiteks lõikeserval või pinnakriimustuse juures. Seni, kuni tsinki on piisavalt saadaval, ei tohiks teras korrodeeruda.

Tabelis 3 on näidatud tsingi kulumise maht ühe aasta jooksul konkreetsete keskkonnaklasside kaupa. Nagu näha, suureneb tsingikadu korrosiivsuse tõustes, kuid võrreldes terasega on see vaid murdosa terase vähenemisest. Näiteks C4 keskkonnaklassis on terase kadu vähemalt 50 µm aastas, samas kui tsingikadu on vaid 2 µm aastas. Tsingikihi eluiga on lihtne arvutada, kui keskkonnaklass on teada. Näiteks C4 kategoorias on 25-aastase eluea tagamiseks

vajalik tsingikihi paksus 50 kuni 100 µm. 50 µm on üsna paks tsingikiht ja selle saavutamiseks on vajalik kuumtsinkimine kastmismeetodil. Teised tsingiga katmise meetodid on eeltsinkimine, elektrolüütiline tsinkimine ning tsentrifuugtsinkimine. Üldiselt kehtib rusikareegel, et tsingikadu maapiirkonnas on 0,5 µm aastas ja linnakeskkonnas 1 µm aastas. Puidutööstuses jääb tsingikadu vahemikku 0,5–1,5 µm aastas, kui tsingikihti ei mõjutata aluste või hapetega. See tähendab, et järgides standardi ISO 12944 klassifikatsiooni (tabel 3), oleks karmim keskkond võrdväärne keskkonnaklassiga C3.²²

Tsingikadu kiireneb märgatavalt, kui keskkonna pH tõuseb üle 13 (aluseline) või langeb alla 6 (happeline). Kuid ainuüksi keskkonna pH ei anna usaldusväärset hinnangut tsingikao kiiruse kohta, kuna tsingikadu mõjutavad ka karbonaadisisaldus ja temperatuur.

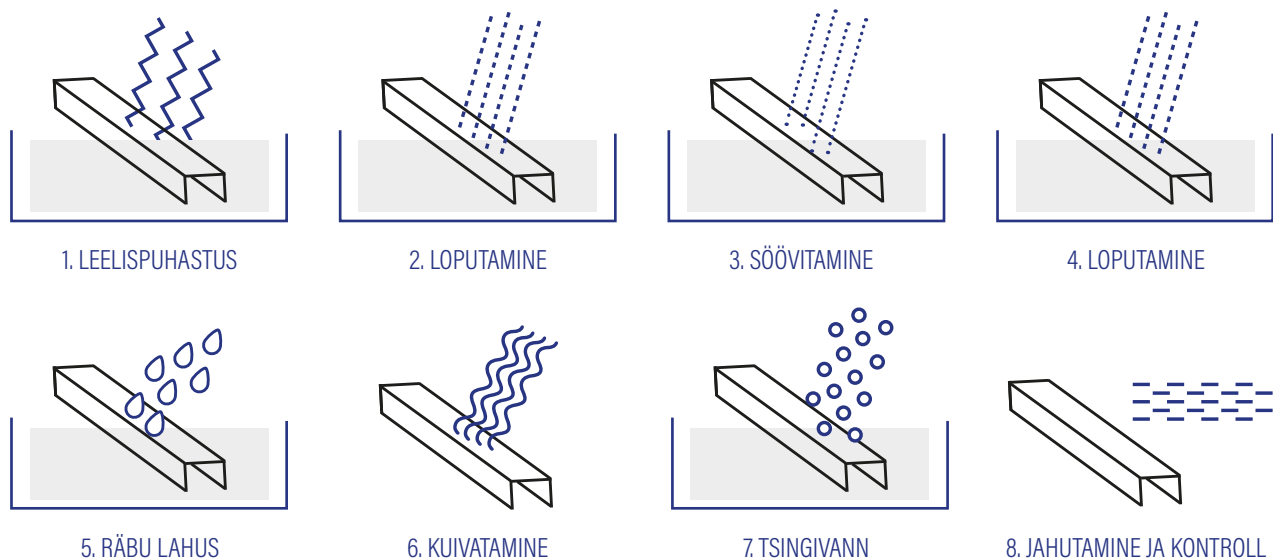
Kuumtsinkimine

Kuumtsinkimine ehk vannis kuumtsinkimine viitab pinnakatetele, mis moodustatakse terasdetailide kastmisel sulatsingi sisse. Kui seda tehakse terasetehases automaatse osana pidevast tootmisprotsessist enne lõpptoote valmimist (nt lehtteras, traat, terastorud), siis on tegemist eeltsinkimisega, mida tutvustame lähemalt järgmises alapeatükis. Sageli teostatakse kuumtsinkimist aga ka valmistoodetele, kastes need suures vannis sulatsingi sisse. Seda protsessi nimetatakse vannis kastmismeetodil kuumtsinkimiseks või lühendatult ka lihtsalt kuumtsinkimiseks (HDG - hot-dip galvanization). Kastmismeetodil kuumtsinkimine võimaldab luua paksemaid tsingikihte; vastavalt standardile EN ISO 1461 on 1 mm paksuse terase minimaalne tsingikihi paksus 35 µm. Kuumtsingitud Meka toodetel on tsingikiht 45 µm või rohkem. Teine kastmismeetodil tsinkimise oluline eelis on selle võime tagada toote täielik kaetus. Sise- ja välispinnad, lõikeservad, keeviskohad, kõik need kaetakse ühtlase tsingikihiga, mis omakorda pikendab toote eluiga.

²¹ Reliance Foundry. Does Stainless Steel Rust?

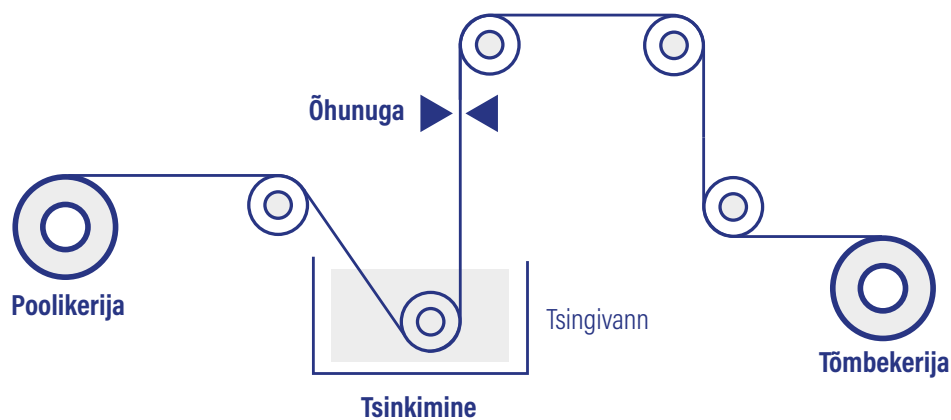
²² Suomen Kuumasinkitsijät R.Y. 2007. Kuumasinkityksen toimintaketju, yleisohje.

Tsinkimise protsess



JOONIS 20

Vannis kastmismeetodil kuumtsinkimise protsess.



JOONIS 21

Pidev kuumtsinkimise liin tsingitud lehtmaterjali tootmiseks.

Kastmismeetodil kuumtsinkimise protsess on lihtne: esmalt toimub pinna ettevalmistamine (rasvaärastus, söövitamine, räbustamine), seejärel tsinkimine ning viimase etapina kontroll.²³ Kuumtsinkimise protsessi illustreerib joonis 20. Kõige olulisem etapp kastmismeetodil kuumtsinkimisel on pinna ettevalmistamine. Pinnakatte kaitse kaob enne oodatud eluea lõppu, just ebapiisava pinna ettevalmistuse tõttu. Tsinkimisaeg määrab tsingikihi paksuse, eeldusel, et alusmaterjal on õige. Tavaliselt saab kastmismeetodil tsinkimisega tekitada 50-200 µm paksuse kihi.

Eeltsinkimine

Eeltsinkimine (Sendzimir) toimub terase tootmisprotsessi osana terasetehases, mis tähendab, et see ei sobi valmistoodete töötlemiseks. Protsess ise on väga sarnane vannis tsinkimisega, kuid seda tehakse pidevprotsessina. Ainus erinevus on õhunoaga joaprotsess, mida kasutatakse soovitud kattekihi paksuse tagamiseks ja pinnakvaliteedi parandamiseks. Ülejäänud etapid algusest

peale on puhastamine, rekristalliseeriv lõõmutus või kuumutamine, lehtmetalli temperatuuri jahutamine, kuumtsinkimine vannis, õhunoaga töötus, jahutamine ja keemiline järeltöötus (vt joonis 21). Eeltsinkimine tagab parema välimuse, kuid õhema tsingikihi kui kastmismeetodil vannis kuumtsinkimine. Näiteks Meka Pro kasutab Z275 pinnakatet, mis garanteerib tsingi kihi paksuseks (tavaliselt) 20 µm. Tabelis 7 on toodud peamised erinevused kastmismeetodil kuumtsinkimise ja eeltsinkimise vahel. Raud- ja terastoodete tsingitud pinnakatte põhispetsifikatsioon on määratletud standardiga EN 10346.

Elektrolüütiline tsinkimine

Elektrolüütiline ehk galvaaniline tsinkimine on protsess, kus terase pinnale kantakse elektrosadestamise teel õhuke tsingikiht. Protsess koosneb järgmistest etappidest: pindade ettevalmistamine ja puhastamine, elektrolüüdi ettevalmistamine, raam- või trummelpindamine, elektrivoolu rakendamine ja järeltöötus.²⁴ Elektrolüütiliselt tsingitud katted

sageli passiveeritakse, et aeglustada tsingi oksüdeerumist. Passiveerimine kaitseb tsinki valge rooste eest ja tsink kaitseb alusmaterjali punase rooste eest. Korrosioonikaitse paraneb veelgi, kui pärast passiveerimist teostatakse tihendusainega järeltöötus. Tavaliselt on galvaanilise tsingikihi paksus umbes 10 µm, täpsemalt vt standardist EN ISO 2081.

Tsentrifuugtsinkimine

Väikeseid tooteid (umbes 10–500 mm) saab tsinkida tsentrifuugtsinkimise meetodil, mida tuntakse ka poltide ja mutrite tsinkimisena. See meetod sarnaneb vannis tsinkimisega, st tooted tuleb tsinkimiseks ette valmistada (rasvaärastus, söövitamine, räbustamine). Protsess on korraldatud nii, et väikesed tooted asetatakse kuumtsinkimise ajaks perforeeritud korvidesse. Pärast korvide kastmist sulatsingi sisse viiakse need tsentrifuugi, et eemaldada liigne pinnakate. Tsentrifuug eemaldab osaliselt üleliigse tsingikihi, tagades mõõtmete täpsuse ja annab mati välimuse.

Omadus	Vannis kastmismeetodil kuumtsinkimine	Eeltsinkimine
Kattekihi paksus	Paks kate minimaalse keskmise paksusega 45-85 µm lähtuvalt standardist EN ISO 1461	Katte paksus varieerub 7 ja 42 µm vahel lähtuvalt standardist EN 10346
Kattekihi ühtlus	Ühtlane pidev kattekiht üle kogu toote	Katmata alad löikekohtadel
Kattekihi sidumine	Tugev metallurgiline side alusmetalliga	Tugev metallurgiline side alusmetalliga
Kulumiskindlus	Paksem kiht kõvast tsink-raua sulamist tagab suure kulumiskindluse	Õhuke sulamikiht, millel on väiksem kulumiskindlus
Katte vormitavus	Vormimine peale tsinkimist võib katet kahjustada	Õhukest kihti võib tavaoludes vormida ilma katet kahjustamata
Ohverduskaitse (katoodkaitse)	Pakub kõrgeimat ohverduskaitse taset	Õhem kate tähendab väiksemat kaitsekihti, mis võib põhjustada roosteplekke lehe löikepindadelt
Katte välimus	Varieeruv, tavaliselt läikiv	Tavaliselt ühtlane ja läikiv
Tootearenduses vajadus arvestada tsinkimismeetodiga	Jah	Jah

TABEL 7
Kastmismeetodil kuumtsinkimine vs eeltsinkimine Galco järgi.²⁵

²³ Galvanize It! Online seminar. Hot-Dip Galvanizing (HDG) Process.
²⁴ Surface Treatment Experts. The zinc plating process.
²⁵ Galco. Batch Galvanized vs Pregalvanized Products.



JONIS 22

Elektrolüütiliselt tsingitud (vasakul) ja tsinkhelveskattega (paremal) detailid peale 550-tunnist soolapihustustesti.

Tsinkhelveskate

Valikuline meetod väikeste toodete (sageli kinnitusvahendite) ja suuremate toodete (nt vedrude) kaitsmiseks korrosiooni eest on tsinkhelveskate meetod vastavalt standarditele ISO 10683 või EN 13858. Selle meetodi puhul uputatakse tooted anorgaanilisse vedelasse kandeainesse, mis sisaldab tsingi- ja alumiiniumhelveid, millele järgneb tsentrifuugimine liigse vedeliku eemaldamiseks. Tahke tsingi-alumiiniumi kiht viimistletakse toodete kuumtöötlemisega ahjus. Tulemuseks on matt hall pind, mis tagab suure korrosioonikindluse, kuigi kattekihi paksus on vaid 5–12 µm. Joonisel 22 on näha elektrolüütiliselt tsingitud ja tsinkhelveskattega detailide erinevus pärast 550-tunnist soolapihustustesti. Tsinkhelveskate korrosioonikaitse põhineb kolmel meetodil: barjäärkaitse, galvaaniline kaitse ja passiveerimine. Tsinkhelveskatete eeliste hulka kuuluvad võimalus kaitsta keerulisemaid vorme, vesinikhapruse vältimine tänu mitte-elektrolüütilisele protsessile ning elektrijuhtivus. Tööstuses on tsinkhelveskate paremini tuntud Geomet nime all.

Keemia

Süsinikterase keemiline koostis mõjutab tsingitud terase pinnaviimistlust. Terases leiduvad eriti reaktiivsed elemendid, räni (Si) ja fosfor (P), võivad mõjutada kuumtsinkimise ühtlust, värvust ja suhtelist siledust. Räni sisaldust kasutatakse piirväärtusena alumiiniumiga rahustatud teraste (Si < 0,03%) ja räniga rahustatud teraste (Si > 0,03%) eristamisel. Mõiste „rahustatud teras“ (killed steel) tuleneb terase tootmise käigus toimuvast degaseerimisest ja deoksüdeerimisest, kus hapniku eemaldamiseks lisatakse tootmise ajal kas räni või alumiiniumi. Kui kumbagi ei lisata, nimetatakse terast „rahustamata teraseks“ (rimming steel). Rahustamata ja alumiiniumiga rahustatud terased sobivad kuumtsinkimiseks juhul, kui räni sisaldus jääb alla 0,03 massiprotsendi. Räniga rahustatud teraseid, mille räni sisaldus on üle 0,14 massiprotsendi, saab samuti tsinkida. Kui eesmärk on paksem tsingikiht, on soovitatav kasutada suurema ränisisaldusega terast. Paksemate tsingi kihtide saavutamiseks kuumtsinkimise teel on optimaalne ränisisaldus nn keskmise ränisisalduse vahemikus, mis on 0,15–0,2 massiprotsenti.

Selle ränisisalduse juures on pinnaviimistlus piisavalt paks, sile ja läikiv (kuigi paksemate teraste puhul võivad esineda hallid ja tumedad alad). Ränisisalduse suurenemine toob kaasa paksema katte ning suurema värvivariatsiooni. Väga pakside tsingikihtide saavutamiseks soovitatakse kasutada terast, mille ränisisaldus on üle 0,22% (Si > 0,22%); sel juhul võib kate olla hall ja tüme. Samuti tasub märkida, et paks tsingikiht on habras ning võib käsitlemisel ketenduda. Ka terase fosforisisaldus mõjutab reaktsioonivõimet, eriti külmvaltsitud terase puhul. Teistel legeerivatel elementidel ei ole katte omadustele selget mõju.²⁶

Terast, mille räni ja fosfori summaarne sisaldus jääb vahemikku 0,03–0,14% ($0,03\% \leq \text{Si} + \text{P} \leq 0,14\%$) nimetatakse „Sandelini teraseks“. Sellist terast ei soovitata kuumtsinkida või tuleks kasutada spetsiaalset tsinki ja tehnoloogiat, kuna tavalise tsingiga tsingivann põhjustab sageli tugeva reaktsiooni „Sandelini terase“ ja tsingi vahel. Tulemuseks on paks, ebaühtlane ja halvasti nakkunud kate. Seega, kui esteetiline välimus on oluline

²⁶ Hot Dip Galvanizers Association Southern Africa. 2015. Hot Dip Galvanized Information Sheet No.14: Hot Dip Galvanized Surface Finishes caused primarily due to the effect of Silicon and Phosphorous in Steel. Nordic Galvanizers. Steels suitable for galvanizing.

	Külmvaltsitud teras	Kuumvaltsitud teras
$Si + P < 0.03$	Enamikel juhtudel aktsepteeritav pinnaviimistlus. Läikiv kate. Standardile vastav paksus. Parem, kõrge kvaliteediline välimus sisalduste $Si < 0.03$ ja $Si + 2.5P < 0.04$ juures.	Enamikel juhtudel aktsepteeritav pinnaviimistlus. Läikiv kate. Standardile vastav paksus. Parem, kõrge kvaliteediline välimus sisalduste $Si < 0.02$ ja $Si + 2.5P < 0.09$ juures.
$0.03 < Si + P \leq 0.014$	Mittesobiv	Mittesobiv
$0.15 \leq Si \leq 0.21$	Paksem kate kui standardis nõutud. Sisemine oksüdeerumine võib muuta reaktsioonivõimet.	Paksem kate kui standardis nõutud.
$0.22 \leq Si \leq 0.28$	Märkimisväärselt paksem kate kui standardis nõutud. Hall välimus.	Märkimisväärselt paksem kate kui standardis nõutud. Hall välimus.
$0.29 \leq Si \leq 0.35$	Paks kate, mis võib olla rabe. Hall välimus.	Paks kate, mis võib olla rabe. Hall välimus.

TABEL 8
Räni- (Si) ja fosforisisalduse (P) mõju külm- ja kuumvaltsitud terase tsingitud pinnakatetele.²⁷

kriteerium, peaks räni ja fosfori summaarne sisaldus olema alla 0,03% ($Si + P \leq 0,03\%$), mida nimetatakse madala ränisisalduse vahemikuks. Enamasti on tavapärane legerimine piisav. Et saavutada kõrge pinnakatte kvaliteet, tuleb järgida täpseid legerimis nõudeid, külmvaltsimise puhul peab terase räni- ja fosforisisaldus vastama piirväärtustele $Si < 0,03\%$ ja $Si + 2,5 \times P < 0,04\%$. Kuumvaltsitud terase räni- ja fosforisisaldus peaks vastama piirväärtustele $Si < 0,02\%$ ja $Si + 2,5 \times P < 0,09\%$. Samuti ei tohi tähelepanuta jätta võimalike kuumtöötluste mõju tsinkimisele. Näiteks võib külmvaltsitud teras, mille ränisisaldus on vahemikus 0,15–0,21%, muutuda lõõmutamise käigus „Sandelini teraseks“. Tabelis 8 on toodud räni- ja fosforisisalduse mõju terase tsinkimisele külm- ja kuumvaltsitud terase puhul.

Välimus
Vastavalt standardile ISO 1461 on tsingitud pinnakatte peamine eesmärk kaitsta kaetud materjali korrosiooni eest. Esteetika ja dekoratiivsed omadused peaksid olema

teisejärgulised. ISO 1461 standard sätestab, et vastuvõtukontroll tuleks läbi viia normaalse või korrigeeritud nägemise puhul vähemalt 1 meetri kauguselt. Kõikide kuumtsingitud toodete olulised pinnad peavad olema vabad tsingi tükidest (mügarikest), mullidest, karedusest, teravatest tippudest ja katmata aladest. Tumedamate ja heledamate alade esinemine (nt laiguline muster, tumehallid alad või teatud pinna ebatasasused) ei peaks olema põhjuseks toote praagiks tunnistamisel. Ladustamisel tekkinud märgumislekk ehk “valge rooste” (peamiselt aluseline tsinkoksiid, mis tekib niisketes tingimustes ladustamisel pärast kuumtsinkimist) ei ole põhjus toote praakimiseks (reklamatsiooniks), eeldusel et pinnakatte paksus jääb üle määratud miinimumväärtuse. Kui välimus ja esteetika on samuti olulised, peavad klient ja tarnija viimistlusstandardis eraldi kokku leppima. Sellisel juhul tuleb arvestada, et karedus ja siledus on suhtelised mõisted ning praktikas on keeruline saavutada ootuspärasest välimusest ja viimistlusest nii, et see kataks samaaegselt kõik muud nõuded.

VÄRVIMINE
Värv on kõige sagedamini kasutatav materjal terase kaitsmiseks ja selle välimuse parandamiseks. Korrosioonivastase värvimise eesmärk on kaitsta metallpinda keskkonna korrodeeriva mõju eest, pakkudes kas füüsilist barjääri või vähendades lokaalset korrosioonikollete teket (galvaaniliste paaride teke). Kui värv sisaldab piisavas koguses tsinki, võib see pakkuda ka katoodkaitset. Tavaliselt koosnevad värvid sideainetest (või vaikudest), pigmentidest, täiteainetest, lahustitest ja lisanditest. Sideained moodustavad pideva värvikihi aluse, tihendades või muul viisil kaitstes pinda, millele värv kantakse. Sideained määravad kattekihi omadused ja toimivuse, nagu näiteks nakkuvus, tugevus ja vastupidavus. Pigment annab värvuse ja muud visuaalsed efektid. Kuigi pigmenti kasutatakse esteetilistel põhjustel, võib sellel olla ka korrosioonivastaseid omadusi. Täiteaine suurendab värvikihi tihedust ja mõjutab paljusid muid kattekihi omadusi, näiteks läikeastet. Lahustit kasutatakse tahkete vaikude ja polümeeride lahustamiseks

²⁷ Nordic Galvanizers. Steels suitable for galvanizing.

ning sideainet viskoossuse vähendamiseks, st lahusti võimaldab värvi pindadele kanda. Lisandid on väiksemad komponendid, mille valik ja mõju on lai, näiteks katalüsaatorid, kuivatid ja voolavusained. Peamised värvi pealekandmise meetodid on pintsli või rulliga, pihustamine, pulbervärvimine ja kastmine. Tuntumad värvimismeetodid on pintseldamine ja rullimine, pihustusmeetodid aga näiteks suruõhupihustamine ja kõrgsurvepihustamine. Valupindamise meetodi näiteks on kastmismeetod. Värv ja selle pealekandmise meetod valitakse vastavalt kasutusotstarbele ja selle nõuetele. Igal värvitehnoloogial on oma standardid ja kandemeetodid. Värvitud kaabli rennid valmistatakse tavaliselt eeltsingitud ja värvitud teraslehtedest. Metallkattetele kantud värvikihti nimetatakse dupleks-kattesüsteemiks ning see teostatakse terasestehases pideva rullpindamise protsessina. Värvikiht luuakse polüestersideaine abil, mis tagab elastse ja vastupidava katte. Kui polüestersideaine on segatud keraamiliste pigmentidega, pakub see suurepäraselt ilmastikukindlust.²⁸ Polüestersideained on laialdast kasutust leidnud ka tänu laiale värvigammale ja kokkusobivusele paljude aluspindadega.

TSINK-MAGNEESIUMKATTED (ZM) XPG

Tsinkkate korrosioonikaitse kestus on otseses seoses tsingikihi paksusega. Mida paksem on teraslehe tsingikiht, seda pikem on korrosioonivastane kaitse. Kuna paksem pinnakate nõuab tootmisel rohkem toorainet ja energiat, on see kallis ning võib põhjustada loodusvarade raiskamist. Sarnase või isegi pikema korrosioonikaitse kestuse võib saavutada, legerides tsingile juurde teisi elemente. Näiteks paraneb korrosioonikaitse märkimisväärselt, kui tsingiga legeritakse nii magneesiumi kui ka alumiiniumi. Mitmed uuringud on näidanud, et tsink-magneesiumkatttega terasel on katsetes suurem korrosioonikindlus kui sarnase kattekihi paksusega tavapärasel tsingitud terasel. Näidatud on kuni kahekümne nelja kordset

eluea pikenemist vaatamata sellele, et tsink-magneesiumkate on õhem kui traditsiooniline kuumtsingikate.²⁹

Tsink-magneesiumkate parem korrosioonikaitse põhineb füüsilise barjääri, katoodkaitse, tsingi aeglasema korrosioonikao ja korrosiooniproduktide (rooste) pooltmoodustatud inhibitsioonikihtide kombinatsioonil. Just nagu traditsiooniline tsingikiht, pakub ka tsink-magneesiumkate katoodkaitset. Lisaks tsingi "ohverdumisele", tekitab tsink-magneesiumkate magneesiumiga tsingipõhise kile. See õhuke kile aeglustab hapniku ja teraslehe vahelist reaktsiooni ning loob tugevama korrosioonikaitse kriimustuste ja lõikeservade ümber. Magneesiumiga tsingipõhise kihi olemus sõltub korrosioonikeskkonnast – mida karmim on keskkond, seda tugevam on kaitsekiht.

Tavaliselt on tsink-magneesiumkattetes kasutatud sulamit, mis sisaldab lisaks tsingile kuni 8% magneesiumi ja alumiiniumi. Näiteks ArcelorMitali tsink-magneesiumkate (kaubamärgi nimi Magnelis) keemiline koostis koosneb tsingist, millele on lisatud 3,5% alumiiniumi ja 3% magneesiumi, samas kui Tata Steeli tsink-magneesiumkattel (kaubamärgi nimi MagiZinc) on teistsugune keemiline koostis.

Tsink-magneesiumkate on ka keskkonnasõbralik, kuna tsinki uhutakse vähem pinnasesse. Uhtumiskiirus kirjeldab materjali pinnalt ümbritsevasse keskkonda lahustuva aine hulka (g/m²/a), näiteks vihmaveega kattelt maha pestava tsingi kogust. Tsink-magneesiumkate tsingi uhtumiskiirus on väiksem katoodsetel aladel sadeneva magneesiumhüdrosiidi tõttu, mis vähendab hapniku redutseerumise kiirust ja soodustab kaitsekihi moodustava alumiiniumoksiidi teket.³⁰ Tsink-magneesiumkate madalam hõõrdetegur võimaldab säästa loodusvarasid ja energiat. Kuna tsink-magneesiumkatttega terast on kergem vormida kui traditsioonilist tsingitud terast, siis saab seda teha ilma emulsioonita, millel on selge mõju tootmise efektiivsusele ja puhtusele.

TSINK-ALUMIINIUMKATTED (ZA)

Tsink-alumiiniumkate, tuntud ka kui Galfan, arendati välja 1980. aasta paiku ning tänapäeval on see lisatud paljudesse rahvusvahelistesse standartitesse, nagu EN 10346 ja JIS 3317. Galfan sisaldab 95% tsinki ja 5% alumiiniumi. See sulam moodustab tsingisulami pinnale korrosiooniproduktidest (rooste) õhukese kile, mis põhjustab aja jooksul tsink-alumiiniumkate korrosioonikiiruse aeglustumist tänu pinda rikastavatele alumiiniumi sisaldavatele korrosiooniproduktidele. Kuna tsink-alumiiniumkate sisaldab tsinki, on sellel lisaks barjäärkaitsele ka tsingile omane galvaaniline (ohverduslik) kaitse. Seetõttu on Galfanil võime kaitsta terast ka lõikeservadel ja kriimustuste ümbruses. Katsetes on leitud, et tsink-alumiiniumkate korrosioonikindlus on vähemalt kaks korda suurem kui tavalisel tsingist kattel.

Galfani mikrostruktuur on lamellaarne (kihiline), mis muudab selle vormitavaks ja plastiliseks. Seetõttu ei murene Galfan-kate töötlemise käigus ning sellel on hea vormitavus ja värvitavus. Tsink-alumiiniumkate täiendav eelis vormimisel on selle pinna madalam hõõrdetegur, mis võimaldab tootmises kasutada vähem emulsiooni.

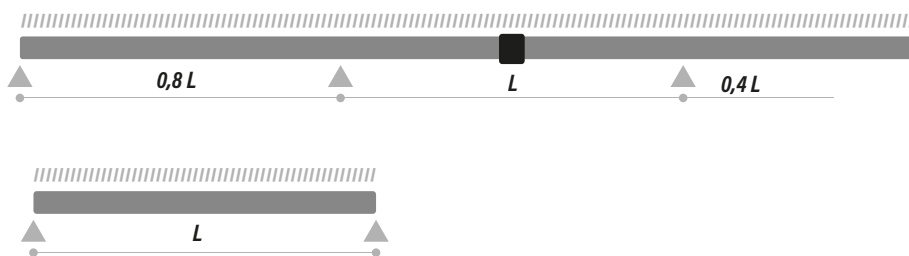
KAABLIKANDESÜSTEEMI MEHAANILINE TUGEVUS

Standard IEC 61537 sätestab, et kaablikandesüsteemid peavad olema projekteeritud ja valmistatud nii, et need tagaksid juhendite kohaselt paigaldatuna tavapärasel kasutamisel neis sisalduvatele kaablitele usaldusväärse toe. Kaablikandesüsteemid ei tohi põhjustada inimestele või kaablitele põhjendamatuid ohte. Süsteemi usaldusväärsust, ohutust ja piisavat mehaanilist tugevust tuleb kontrollida standardis IEC 61537 määratletud katsetega. Seejärel saab tootja või maaletooja määrata kaablikandesüsteemile või selle komponentidele lubatava ohutu töökoormuse (SWL). Lubatav ohutu töökoormus (SWL) on maksimaalne koormus, mida saab kaablikandesüsteemile või selle komponentidele

²⁸ Haddock R. 2002. Metal roofing from A (Aluminum) to Z (Zinc) – Part III, Paint finishes for metal. MetalMag.

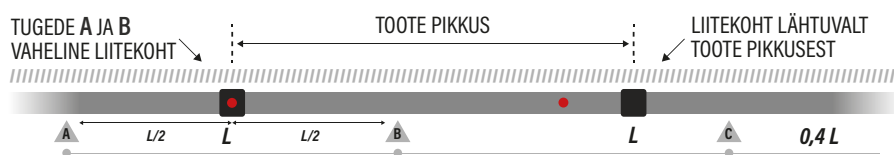
²⁹ Hosking N.C., Ström M.A., Shipway P.H. & C.D. Rudd. 2007. Corrosion resistance of zinc-magnesium coated steel. Corrosion Science 49, 3669–3695.

³⁰ Wallinder O. & Leygraf C. 2017. A Critical Review on Corrosion and Runoff from Zinc and Zinc-Based Alloys in Atmospheric Environments. Corrosion Vol. 73 No. 9, 1060-1077.



JOONIS 23

Mitme sildega (ülemine joonis) ja ühe sildega katsete (alumine joonis) seadistused SWL kindlaksmääramiseks lähtuvalt standardist IEC 61537.



JOONIS 24

Katsetüübi 1 katseseadistus SWL-i ja läbipainde määramiseks.

LEGEND

////	Koormus	■	Liitekoht
■	Katseeksemplar	L	Silde pikkus
▲	Tugi	●	Mõõtepunkt

tavapärasel kasutamisel ohutult rakendada. Deklareeritud süsteemi puhul peab tootja või maaletooja deklareerima testitava SWL-i järgmiselt kaablikandesüsteemi:

- ühikutes N/m (njuutonit meetri kohta) iga kaablirenni või kaabliredeli tüübi kohta, määratud tugedevaheliste (kandurite) kauguste juures, eelistatavalt 0,5 m sammuga tugede vahel,
 - ühikutes N/m iga tüüpi liiteosa kohta, mis ei toetu vahetult tugeledele, või
 - ühikutes N või N/m iga tüüpi toe kohta.
- Ohutu töökoormuse (SWL) katseprotseduur on standardis IEC 61537 selgelt kirjeldatud.

Standard nõuab ühtlaselt jaotatud koormuse kasutamist üle katseeksemplari pikkuse ja laiuse, tagamaks, et koormus jaotub ühtlaselt ka katseeksemplari äärmusliku deformatsiooni korral. Mõõtmisprotsess ise toimub järgmiselt:

1. Koormuse suurendamine kuni eelkoormuseni, mis on 10% SWL-ist.
2. Katseeksemplari stabiliseerimine, säilitades eelkoormust viie minuti jooksul.
3. Koormuse eemaldamine ja mõõteseadmete nullimine (lähtestamine).
4. Koormuse suurendamine kas astmeliselt või ühtlaselt kuni SWL-ini.
5. SWL-i säilitamine ja läbipainde mõõtmine iga

5 minuti järel, kuni kahe järjestikuse näidu vahe on väiksem kui 2% võrreldes neist esimese näiduga. Sel ajahetkel võetud esimene lugem ongi SWL-i juures mõõdetud läbipaine.

6. Koormuse suurendamine kuni 1,7 kordse SWL-ni
7. Säilitada koormust 1,7-kordse SWL-i väärtuses viie minuti jooksul. See etapp peab olema läbitud samamoodi nagu SWL-i punkti 5 puhul.

Katseeksemplaril, selle liitekohtadel ja kinnitustahvritel ei tohi ohutu töökoormuse (SWL) rakendamisel olla palja silmaga või korrigeeritud nägemisega (ilma suurenduseta) nähtavaid kahjustusi ega pragusid. See tähendab, et pinged üheski komponendis ei tohi ületada vastava komponendi voolavuspiiri ehk deformatsiooni tekke momenti. Iga silde läbipaine ei tohi SWL-i korral ületada 1/100 silde pikkusest. Rakendades 1,7-kordset SWL-i, on katseeksemplari nõtkumine ja deformatsioon lubatud, kuid katseeksemplar peab koormusele vastu pidama purunemata. Teisisõnu peavad pingelukorrad kõigis komponentides jääma alla tõmbetugevuse piiri, samas kui voolavuspiiri ületamine on lubatud.

Meka Pro-I on sertifitseeritud ja kalibreeritud testimislabor, millega viiakse läbi ohutu töökoormuse (SWL) katseid vastavalt standardile IEC 61537. Testimisseade on kalibreeritud ja katseprotsess sertifitseeritud sõltumatu kolmanda osapoole poolt, tagamaks testimisseadme usaldusväärsus ning katseprotseduuri vastavus standardile IEC 61537.

IEC 61537 standardi järgi võib ohutut töökoormust (SWL) mõõta kas mitmesildelise või ühesildelise paigalduse puhul (vt joonis 23). Lisaks saab mitmesildelist katset läbi viia nelja erineva katsetüübi alusel, mida tutvustatakse lähemalt järgmistes lõikudes.

1. tüüpi katse võimaldab paigaldajal paigutada liitekohti kogu paigaldise ulatuses, mis tähendab, et liitekohad võivad asuda paigaldisel mis tahes kohas. Samuti puuduvad piirangud lõpusilletele. Praktikas tähendab see seda, et kontrollkatsetel peab tootja või maaletooja paigutama liitekohta lõpusilde keskele. Tootja või vastutav tarnija peab sealjuures mõõtma läbipainet vastavalt

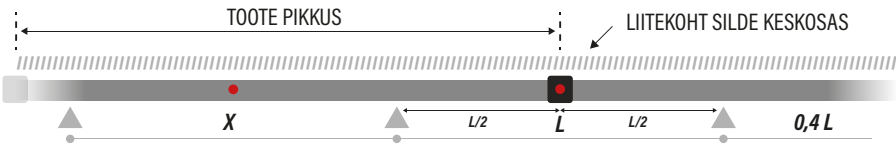
standardile IEC 61537 (vt joonis 24). See on kõige keerulisem juhtum ja põhjustab maksimaalse läbipainde. Teisest küljest muudab see paigaldamise ehitusplatsil lihtsaks, sest puudub vajadus keskenduda liitekohtade asukohtadele, liitekohti võib paigutada kõikidele installatsioonidele ning mõõtetulemused jäävad kehtima.

2. tüüpi katse ei luba liitekohta lõpusildes ning tootja või maaletooja võib deklareerida lõpusilde pikkuse X . Praktikas tähendab see, et kontrollkatsetel peab tootja või vastutav tarnija paigutama liitekohta vahesilde keskele. Tootja või maaletooja peab sealjuures mõõtma läbipainet vastavalt standardile IEC 61537 (vt joonis 25). See on keeruline juhtum, mis põhjustab vahesildes maksimaalse läbipainde. Liitekohtade paigaldamine lõpusildes ei ole lubatud ning lõpusilde pikkust võib olla vaja kohandada vastavalt tootja või vastutava tarnija deklaratsioonile. Muus osas võib liitekohti paigutada paigaldise kõikidesse teistesse osadesse.

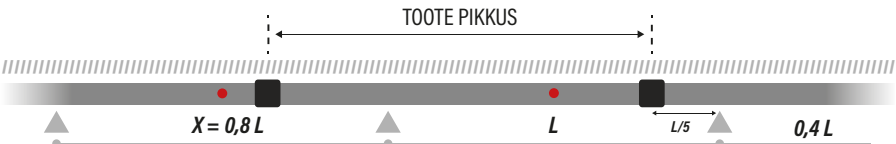
3. tüüpi katse võimaldab paigaldajal paigutada liitekohti ainult tootja või maaletooja deklaratsioonile. Liitekohta asukoht on kõigi paigaldiste puhul määratud suhtarvuna toe lähedal (vt joonis 26). Tootja või maaletooja võib deklareerida ka lõpusilde pikkuse X . Praktikas tähendab see, et tootja või maaletooja võib kontrollkatsetel paigutada liitekohti vabalt, lähtudes standardist IEC 61537.

4. tüüpi katset kasutatakse siis, kui süsteemi nõrk koht on lokaalne. See lokaalne nõrk koht paigutatakse võimalikult toe lähedale, nagu on näidatud joonisel 27. Võimaluse korral tuleks liitekohad paigutada nii, et muudetakse 1. või 2. tüüpi testi, nihutades liitekohta kuni $\pm 10\%$ silde pikkusest (L) võrreldes selle määratud asukohaga. Seejärel mõõdetakse vastavalt lubatud ohutu töökoormus (SWL) ja läbipaine, et kliendid saaksid oma süsteemi kohta asjakohast ja kehtivat teavet.

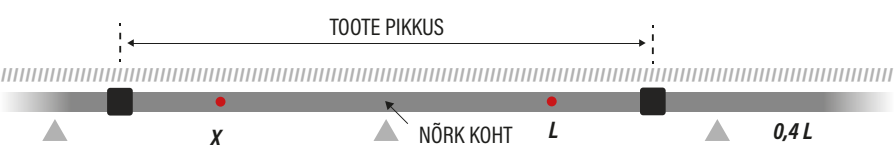
Joonis 28 illustreerib ühesildelise paigalduse lubatava ohutu töökoormuse katsekorraldust. Kui tootja või maaletooja ei deklareeri liitekohta



JOONIS 25
2. tüüpi katse korraldus lubatud ohutu töökoormuse ja läbipainde määramiseks.

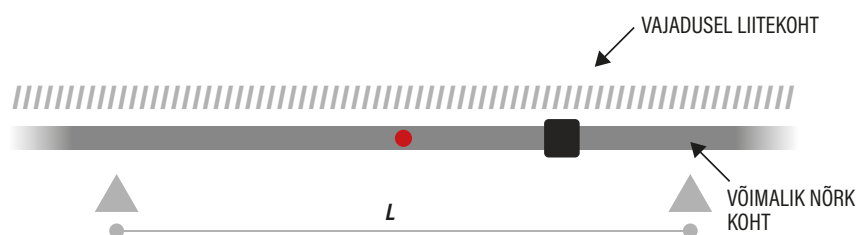


JOONIS 26
3. tüüpi katse korraldus lubatud ohutu töökoormuse ja läbipainde määramiseks.



JOONIS 27
4. tüüpi katse korraldus lubatud ohutu töökoormuse ja läbipainde määramiseks.

LEGEND	
////	Koormus
■	Katseeksemplar
▲	Tugi
■	Liitekoht
L	Silde pikkus
X	Lõpposa pikkus
●	Mõõtepunkt



JOONIS 28

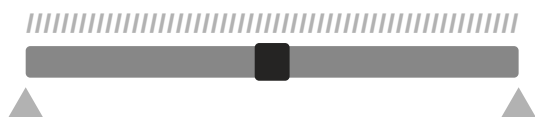
Ühesildelise katse korraldus ohutu töökoormuse ja läbipainde määramiseks.



JOONIS 29

Lihttoetusega tala vasakul ja jäiktoetusega tala paremal.

Mõlemad lahendused on kirjanduses hästi tuntud ja kirjeldatud.



JOONIS 30

Lihttoetusega tala liitekohaga silde keskel, mida on keeruline arvutada.

LEGEND

//// Koormus

■ Katseeksemplar

▲ Tugi

■ Liitekoht

L Silde pikkus

● Mõõtepunkt

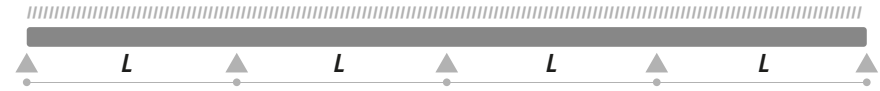
asukohta, peab see asuma silde keskkohas, et saavutada maksimaalne läbipaine ja seeläbi paigaldaja jaoks halvim võimalik tulemus. Liitekoht ei ole vajalik juhul, kui kaabliirenn või -redel on pikem kui sille.

Struktuuriselt vastab ühesildeline süsteem üksikule talale, mida kasutatakse põhimeetodina inseneridele staatilise koormuse aluste õpetamisel. Joonis 29 esitleb kahte tuntud üksiku tala skeemi: vasakul lihttoetusega tala ja paremal jäiktoetusega tala. Mõlemad lahendused on laialt tuntud ja kirjanduses põhjalikult kirjeldatud. Seetõttu saab neid tõhusalt kasutada üksiku tala läbipainde arvutamiseks, kui tala ristlõige ja koormus on teada. Kirjanduses on esitatud arvukalt ristlõikeid ja nende parameetreid. Samuti on kirjeldatud mitmeid koormustüüpe ja nende mõju läbipaindele, sealhulgas standardis IEC 61537 nõutud ühtlaselt jaotatud koormust. Seega on üksiku tala puhul lisaks läbipaindele võimalik teatud täpsusega arvutada ka tala pinget ja seeläbi ohutut töökoormust (SWL).

Kahjuks peegeldavad üksiku tala mudelid tegelikkust vaid pealiskaudselt, isegi kaablikandesüsteemide puhul. Fikseeritud piirtingimused on kaablikandesüsteemides haruldased ning lihttoetused on tegelikkuse lihtsustused. Kolmas erinevus tuleneb süsteemist endast. Reaalsed kaablikandesüsteemid koosnevad sageli enamast kui ühest talast ja kahest toest. Vaja läheb vähemalt ühte liitekohta, mille puhul ei ole läbipaine enam lihtsalt arvutatav, kuna liitekohta omadused mõjutavad tulemusi tugevalt. Näiteks joonisel 30 esitatud juhtum ei vasta joonisel 29 toodud skeemile. Lisaks liitekohale koosneb reaalne süsteem tavaliselt mitmest toest. Mitme toega süsteemi saab visualiseerida pidevtaladena (vt joonis 31). Pidevtalaks nimetatakse koormatud tala, millel on pikkuse peale rohkem kui kaks tuge. Jällegi on pidevtala tegelikkuse liigne lihtsustus, kuna see eirab liitekohti. Küll aga võimaldab pidevtala teooria visualiseerida naabersillide vastukaalu mõju. Maksimaalne läbipaine ja maksimaalne paindemoment esinevad esimese ja teise toe vahel või lõputoest eelviimase toeni.

Selle põhjuseks on vastukaalu puudumine teisel pool.³¹ Kuna lõpusildes on läbipaine ja paindemoment suuremad, on selle maksimaalne pikkus tavaliselt deklareeritud tootja või maaletooja poolt. Nagu näidatud, mõjutavad läbipainet ja ohutut töökoormust mitmed tegurid, mistõttu tuleks nii SWL-i kui ka läbipainet mõõta standardi IEC 61537 alusel, mitte piirduda vaid arvutustega.

Joonis 32 esitleb konsooltala ja ühtlaselt jaotatud koormusega konsooltala, mida saab kasutada seinatugede kanduri lihtsustatud arvutusudelina. Mõlemad juhtumid on kirjanduses laialt levinud, seega on põhiarvutusi üsna lihtne teostada. Siiski kehtivad ka konsooltalade puhul eespool mainitud ebatäpsused. Seetõttu on täpsete tulemuste saamiseks soovitatav teha arvutuste asemel standardi IEC 61537 põhiseid katseid.



JOONIS 31
Viie toega pidevtala süsteem.



JOONIS 32
Konsooltala.

- LEGEND**
- //// Koormus
 - Katseeksemplar
 - ▲ Tugi

³¹ StructX, Continuous Beam - Four Span with UDL, Janicki D, Continuous Beam Bending Tables, YourSpreadsheet™

KOKKUVÕTE

Kaablikandesüsteem võib välja näha nagu lihtne teraskonstruksioon, mis vajab vaid seinale või lakke paigaldamist. Kuid selleks, et süsteem vastaks kõikidele nõuetele, oleks ohutu kasutada ning täidaks oma eesmärgi mistahes keskkonnas, tuleb selle projekteerimise, hanke, tootmise ja paigaldamise juures kinni pidada mitmetest standarditest, regulatsioonidest ja juhenditest.

Kaablikandesüsteemi eluea ja ohutuse maksimeerimiseks saavad projekteerijad ja käitlejad järgida järgmisi lihtsustatud põhimõtteid:

1. Määrake kindlaks keskkonnaklassid (C1-CX), kuhu kaablikandesüsteem paigaldatakse. Kaablikandesüsteemi sobiv materjal ja pinnatöötlus valitakse lähtudes keskkonnaklassist. Erinevatele klassidele vastavad pinnatöötlused hõlmavad:

- Elektrolüütiliselt tsingitud (EG), eeltsingitud teras (PG) ja värvitud eeltsingitud tooted (M/B) sobivad kokku keskkonnaklassiga C1 (küttega siseruumid) ja C2 (kütmata hooned, nagu laod ja maapiirkondade ehitised)
- Kastmismeetodil kuumtsingitud tooted (HDG) ja tsink-legeeritud kattekihiga tooted (XPG) sobivad kokku keskkonnaklassiga C3 (niisked siseruumid ning linna- ja asulakeskkond) ja C4 (keemiatehased ning tööstus- ja ranniku-alad, kus on mõõdukas soolsus).

- Happekindel roostevaba teras (HST) sobib kategooriatega C5 (saastunud ja pideva niiskusega siseruumid, samuti niiske ja korrodeeriv tööstus- ning rannikeskkond) ja CX (äärmiselt niiske ja korrodeeriv tööstus, avamererajatised ning subtroopiline ja troopiline kliima).

2. Määrake kindlaks kaablite kaal (kg/m) ja sille (m). Kaablite kaal mõjutab silde pikkuse määramist ja vastupidi. Lühemad silded võimaldavad kanda suuremaid koormusi ning pikemad silded võivad piirata lubatavat koormust. Tootespetsiifilised koormusandmed, sealhulgas maksimaalne lubatud koormus, tuleb üle kontrollida tootja või maaletooja käest. Meka Pro toodete kohta leidub vastav teave tootekataloogides, tootelehtedes ja veebilehel www.meka.eu.

3. Vaadake üle ehitise tulekindluse nõuded.

Tulekindla paigalduse puhul on toote laius, sille, maksimaalne koormus ja paigaldusviis piiratud. Seetõttu on iga tootepere jaoks kehtestatud eraldi paigaldusjuhend, mis tuleb üle kinnitada tootja või maaletoojaga. MEKA® toodete tulepüsiv paigaldus teostatakse vastavalt eraldi juhiste, mille leiab veebilehelt www.meka.eu. Vastutustundliku kaablikandesüsteemide tootja peab oma igapäevatoös arvesse võtma arvukaid asjaolusid, tagamaks, et süsteemid oleksid usaldusväärsed, ohutud ja jätkusuutlikud.

Igal otsusel võib olla suur mõju lõpptootte kvaliteedile ja funktsionaalsusele. Teisisõnu, isegi väike vale valik mistahes ahela punktis võib rikkuda lõpplahenduse ja mõjutada seeläbi kogu objekti ehitusgraafikut. Teisalt võivad kogenud inimeste õiged valikud tuua ehitusplatsil suurt kasu ning säästa raha ja ressursse kogu kaablikandesüsteemi eluea jooksul. Kõik tehtavad valikud peavad põhinema parimatel olemasolevatel teadmistel ja kogemustel ning nagu see käsiraamat näitab, on selleks teadmisi vaja paljudes eri valdkondades.

Kuigi käesolev käsiraamat esitleb kaablikandesüsteemidega seotud mitmeid erinevaid baasteemasid, ei kata see kõiki teadmisi. Kogu teabe esitamiseks tuleks igat siintoodud teemat märkimisväärselt laiendada. Seega eksisteerib selle raaamatu kõrval kaablikandesüsteemide kohta veel palju väärtuslikku teavet, mida Meka Pro on oma klientidega alati valmis jagama.

Meka Pro võtab igapäevaselt kuulda oma klientide tagasisidet pakkumaks veelgi paremaid ja täiuslikumaid kaablikandesüsteeme. Seega, ärge kahelge meiega ühendust võtmast. Aitame meeleldi leida just teie vajadustele sobiva lahenduse ning seisame hea selle eest, et projekt valmiks tähtaegselt ja kulutõhusalt.

TERMINOLOOGIA

ALUMIINIUM

Kolmas enamlevinud element ning kõige levinum metall maakoores. Alumiinium on üks kergemaid metalle, ei ole vastuvõtlik korrosioonile ning sellel puudub plastse ja rabeda käitumise üleminekutemperatuur, mistõttu sobib see ka krüogeenseteks rakendusteks.

BIM

Ehitusinfo modelleerimine (BIM - Building Information Modeling) on koostöö-põhine protsess, mille eesmärk on tagada tõhus infohaldus kogu hoone elutsükli vältel, alates projekteerimisest kuni haldamiseni, kasutades erinevaid tööriistu ja kaasates mitmeid sidusrühmi. Ehitusinfo mudelid on nutikad objektid, mis koosnevad geomeetriast ja talletatud andmetest, võimaldades hoonet visualiseerida ning teostada mitmekülgeid analüüse.

DÜNAAMILINE KOORMUS

Koormus, mille suurus või asukoht võib ajas muutuda, st mistahes mittestaatiline koormus, näiteks vibratsioonist või tuulest põhjustatud koormus. Dünaamilist koormust ja vibratsiooni võib põhjustada ka lühisvool, mis tekitab ebanormaalselt tugeva voolu, temperatuuri tõusu ja mehaanilise jõu.

ELTSINKIMINE (PG)

Tsingiga katmise protsess (pre-galvanizing), mis toimub terasetehases lehtterase tootmise osana, mistõttu tuntakse seda ka "pinnatsinkimise" või "Sendzimiri" protsessina. Teraslehed rullitakse läbi sulatsingi enne terase edasist töötlemist (nt kaabliredelite valmistamist). Pinnakiht on õhem, kuid välimus on võrreldes kuumtsinkimisega parem.

ELEKTRI- JA ELEKTRONIKASEADMETEST TEKIVATE JÄÄTETE DIREKTIIV (WEEE)

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv elektri- ja elektroonikaseadmetest tekkivate jäätmete kohta. (Waste electrical & electronic equipment - WEEE) Direktiiv kohustab EL-i turul tegutsevaid elektri- ja elektroonikaseadmete tootjaid rakendada ringlussevõtu programmi.

ELEKTROLÜÜT

Ained, mis on võimelised elektrit juhtima. Korrosiooniprotsessi oluline eeltingimus.

ELEKTROLÜÜTILINE TSINKIMINE (EG)

Tsinkimise protsess, mille käigus kantakse tsingikiht teras detailile või -traadile elektrolüüsi teel (electro-galvanizing). Elektrolüütiliselt tsingitud katte paksus on ühtlane ja minimaalne. Õhuke tsingikiht on plastne ning püsib seetõttu terviklikuna ka märkimisväärse deformatsiooni korral.

ELEKTROMAGNETILINE ÜHILDUVUS (EMC)

Seadmete võime toimida oma elektromagnetilises keskkonnas nii, et nende talitus ei halvene ega esine rikkeid, ning vastupidi (electromagnetic interference). Elektromagnetiline ühilduvus tagab, et seadmete töö ei mõjuta elektromagnetilist keskkonda määral, mis kahjustaks teiste seadmete või süsteemide toimimist.

ELEKTROMAGNETILISED HÄIRED (EMI)

Elektromagnetiline energia, mis mõjutab elektroonikaseadme tööd (electromagnetic compatibility). Elektromagnetiline häiring võib tuleneda nii inimtegevusest kui ka loodusnähtustest, näiteks mobiiltelefonidest,

LED-valgustitest, magnetitormidest, päikesekiirgusest jne.

GALFAN

Laialdaselt standardiseeritud korrosioonikaitse pinnakate, mis koosneb tsingist (95%) ja alumiiniumist (5%).

GALVAANILINE KORROSIOON

Galvaaniline paar moodustub kahest või enamast omavahel elektriliselt ühendatud erineva potentsiaaliga materjalist elektrolüüdis. Madalama potentsiaaliga materjal (anood) korrodeerub, samas kui kõrgeima potentsiaaliga materjali (katood) korrosioon võib täielikult peatuda.

HALOGEENIVABA

Materjali fluori- (F), kloori- (Cl), broomi- (Br), joodi- (I) või astaadisaldus (At) on madalam standarditega (nt IEC ja DIN) kehtestatud piirnormidest. Kõnealused materjalid tekitavad metallidega reageerides laia valiku sooli ning mõned neist on gaasilisel kujul äärmiselt mürgised. Näiteks PVC (polüvinüülkloriid) ei ole halogeenivaba materjal.

JÄTKUSUUTLIKKUS

Võime rahuldada inimvajadusi, avaldades keskkonnale minimaalset mõju.

KAABLIREDEL

Kaabli toestamiseks kasutatav kaablikandesüsteemi komponent, mis koosneb omavahel redelipulkadega ühendatud toetavatest külgsuunalistest profiilidest.

KAABLIRENN

Kaabli toestamiseks kasutatav kaablikandesüsteemi komponent, mis koosneb põhjaplaadist koos integreeritud külgdetailidega või põhjaplaadist, mis on ühendatud külgdetailidega.

KAABLIREDELISÜSTEEM

Kaablite toestamiseks mõeldud terviklahendus, mis koosneb kaabliredeli lõikudest ja muudest süsteemi komponentidest, nagu ühendusdetailid, kinnituselemendid ja toed.

KAABLIRENNISÜSTEEM

Kaablikandesüsteemi komponentide kooslus, mis koosneb kaablirennidest ja teistest süsteemi komponentidest, nagu liitekohad, paigaldusdetailid ja toed.

KAABLTRASS

Kaablikandesüsteemi komponentide kooslus, mis koosneb üksnes kaabliredelitest, korvrennidest või rennidest ning lisadetailidest.

KAHJUSTUS

Kaablikandesüsteemi või selle komponendi füüsiline vigastus, mis takistab süsteemi või selle komponendi edasist ohutut kasutamist, näiteks murdunud redelipulk, katkenud keevis jne.

KATMATA PIIRKOND

Piirkonnad raud- või terasobjektidel, mis ei ole kaetud tsingi, värvi või tsingiühenditega.

KATTE PAKSUS

Raua- ja terasetoodete pinnal oleva tsingi, värvi, tsingisulamite või tsingi-värvi sulamite kogupaksus.

KEKKONNAKLASSID

Standardid ISO 12944 ja ISO 9223 määratlevad keskkonnaklassid standardsete katsekehade esimese aasta korrosioonimäära alusel ning standard IEC 61537 klassifitseerib materjalid ja pinnatöötlused nende korrosioonikindluse järgi.

KONDENSATSIOON

Protsess, kus niiskus veeldub materjali pinnale. Kondenseerumine toimub kui õhk jahtub kastepunktini või kui õhk on veeaurust niivõrd küllastunud, et ei suuda seda enam hoida.

KORROSIOON

Materjali lagunemine keskkonnatingimuste mõjul. Kuigi korrosiooni esineb ka mittemetallistes materjalides, mõistetakse selle all tavaliselt metalli lagunemist keemilise ja/või elektrokeemilise reaktsiooni tagajärjel keskkonnaga.

KUUMTSINKIMINE

Tsingiga katmise protsess, kus terasleht, traat või toru rullitakse läbi sula tsingi enne terase edasist töötlemist (eeltsinkimine) või kus valmistoode või vormitud detail kastetakse pärast valmistamist tsingivanni.

LIITEDETAIL

Kaablikandesüsteemi komponent, mida kasutatakse kaabliredelite või -rennide ühendamiseks, suuna muutmiseks, mootmete muutmiseks või trassi lõpetamiseks.

LÄBIPAIN

Kaablikandesüsteemi komponentide liikumine või paindumine, mida põhjustab komponendi enda kaal või sellele mõjuv väliskoorumus.

MAANDUS

Protsess, mille käigus juhitakse elektrienergia hetkeline pinge maandusjuhtme kaudu maasse (nullpotentsiaali). Kaitsemaandust teostatakse seadme voolu mittejuhtiva osa või toitesüsteemi neutraalpunkti ühendamisega maaga (potentsiaaliühtlustus).

MÄRGUMISPLEKK

Valge pulbriline tsingi korrosiooniproduktide kiht, mis koosneb tsinkhüdrosiidist ja tsinkoksiidist ning tekib niiskele tsingikihile. Võib tekkida värskest tsingitud pindadel, mida hoiustatakse niiskes ja piiratud hapnikuga keskkonnas.

OHUTU TÖÖKOORMUS (SWL)

Maksimaalne koormus, mida võib tavapärase kasutamise käigus kaablikandesüsteemile või selle komponentidele ohutult rakendada (Safe working load).

OSKUSTÖÖLINE

Oskustööline omab piisavalt tehnilisi teadmisi ja vajalikke praktilisi oskusi tegemaks oma tööd ohutult süsteemi või osasid kahjustamata.

PAIGALDUSTARVIK

Kaablikandesüsteemi komponent, mida kasutatakse teiste seadmete ühendamiseks või kinnitamiseks kaablitrassile.

pH TASE

Logaritmiline kümnendskaala, mis määratleb, kui happeline või aluseline on vesilahus. Neutraalse vedeliku pH on 7. Kui pH on alla 7, on vedelik happeline; aluselise (leeliselise) vedeliku pH on üle 7. Pane tähele, et logaritmilise skaala tõttu on erinevus kahe täisarvu vahel kümne kordne. Täpsem info standardis ISO 80000-9.

POTENTSIAALIÜHTLUSTUS

Voolu mittejuhtivad metallosad ühendatakse nii, et nende elektripotentsiaalid oleksid võrdsed. Võrdne potentsiaal väldib voolu liikumist ja sädemete teket komponentide vahel.

REACH (KEMIKAALIDE REGISTREERIMINE, HINDAMINE, AUTORISEERIMINE JA PIIRAMINE)

Euroopa Liidu määrus, mis nõuab ettevõtelt nende poolt EL-is toodetavate ja turustatavate ainetega seotud riskide tuvastamist ja haldamist (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Kui ettevõtte ei esita piisavaid juhiseid ja riskihaldusmeetmeid, võivad ametiasutused aine kasutamist piirata.

REVIT

Autodeski ehitusinfo modelleerimise (BIM) tarkvara, mis aitab osapooltel projekteerida, simuleerida, visualiseerida ja koordineerida ehitusinfo mudeli (BIM) siseseid seotud andmeid.

ROHS (OHTLIKE AINETE KASUTAMISE PIIRAMINE ELEKTRI- JA ELEKTRONIKA-SEADMETES)

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv teatavate ohtlike ainete kasutamise piiramise kohta elektri- ja elektroonikaseadmetes (Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment).

ROOSTEVABA TERAS

Teras sulam, mille kroomisisaldus on vähemalt 10,5% ja süsinikisisaldus maksimaalselt 1,2% massist. Eristatakse happekindlat roostevaba terast (HST) roostevabast terasest (RST) molübdeenisisalduse põhjal: kui roostevaba teras sisaldab molübdeeni, nimetatakse seda happekindlaks roostevaba teraseks (HST).

SILLE

Kaablikandesüsteemi kahe külgneva tugidetaili keskosade vaheline kaugus.

SISEMINE KINNITUSVAHEND

Seade kaablikandesüsteemi komponentide omavaheliseks ühendamiseks ja/või kinnitamiseks. Sisemine kinnitusvahend on süsteemi osa, kuid mitte süsteemi komponent (nt poldid ja mutrid).

SOOJUSPAISUMINE

Materjali mahu muutus vastavalt temperatuuri muutusele.

SOOJUSPAISUMISTEGUR

Materjali suhteline pikenemine jagatuna selle temperatuuri muutusega.

STAATILINE KOORMUS

Konstantne koormus, mille mõju suurus ja mõjukese on ajas muutumatud.

SÜSTEEMIKOMPONENT

Kaablikandesüsteemis kasutatavad osad või komponendid, näiteks kandurid, paigaldustarvikud, süsteemi lisatarvikud, kaablirennid, korvrennid, kaabliredelid ning nende liitelemendid.

SÜSTEEMI LISATARVIK

Kaablikandesüsteemi komponent, mida kasutatakse lisafunktsioonide täitmiseks, näiteks kaablite kinnitamiseks või katmiseks.

TERAS

Oma tugevuse tõttu kõige olulisem tarbemetall. Paljusid terase mehaanilisi omadusi saab reguleerida legerimise ja tootmisprotsesside abil, mistõttu on saadaval tuhandeid terasemarke. Ainus ühine tegur on süsinikusisaldus, mis peab olema alla 1,7%, vastasel juhul on tegemist malmiga, mitte terasega.

TSENTRIFUUGTSINKIMINE

Peale kastmismeetodil tsinkimist tooted tsentrifuugitakse. Protsess tagab mehaanilise täpsuse ja tsingikihi kaitseomadused väikeste toodete puhul, mistõttu kutsutakse seda meetodit ka poltide ja mutrite tsinkimiseks.

TSINK

Keemiline element ja neljas enimkasutatud metall maailmas. Puhas tsink on väga reaktiivne, kuid metalliline tsink moodustab oksiidikihi, mis ei reageeri hapniku ega halogeenidega, mistõttu kasutatakse seda laialdaselt terase korrosioonikaitkena.

TSINKHELVEKATE

Vedelikupõhine pinnakate, mis koosneb tsingija alumiiniumhelveste segust. Kate tagab vastupidava korrosioonikaitse. Tsinkhelveskatet tuntakse sageli kaubamärkide järgi, nagu Geomet või Dacromet.

TSINKIMINE

Protsess terase katmiseks tsingikihiga korrosiooni ärahoidmiseks või aeglustamiseks. Levinumad tsinkimise meetodid on kuumtsinkimine, pidevtsinkimine (liin tsinkimine), elektrolüütiline tsinkimine, helvestsinkimine ning tsingirikas värvimine.

TSINKKARBONAAT

Õhuke, tihe ja stabiilne kiht tsingitud pinnal, mis tekib loomuliku oksüdeerumisprotsessi käigus, kus vahelduvad märjad ja kuivad tsüklid. Täielik väljakujunemine võtab aega 6-12 kuud, mille jooksul muutub tsingikiht matthalliks. Sellel kihil on märkimisväärne mõju korrosioonikaitsele.

TSINKKATE

Teraspinnale kantud tsingi kiht, kaitseb terast korrosiooni eest ja pikendab seeläbi terasest toodete kasutusiga. Tavaliselt koosneb tsinkkate peaaegu puhtast tsingist, tsingisisaldusega üle 99% massist.

VALGE ROOSTE

Reaktsioon, mille tulemuseks on pulbriline sade, mis võib tekkida tsingi või tsingiga kaetud materjalide pinnale, kui tsink puutub kokku vesiniku ja hapnikuga.

VANNIS KASTMISMEETODIL KUUMTSINKIMINE (HDG)

Tsinkimisprotsess, kus lõpptoodet või selle osa kastetakse kastmismeetodil tsingivanni (Hot-Dip Galvanizing), mille tulemusel kattub detail kogu pinna ulatuses, sh keevitus- ja lõikepinnad, tsingiga, tagades lõpptootele korrosiooni kindluse.

VÄLINE KINNITUSVAHEND

Kaablikandesüsteemi kinnitusvahend, mida kasutatakse tugikonstruktsiooni kinnitamiseks seinte, lagede või muude ehituskonstruktsioonide külge. Välised kinnitusvahendid ei kuulu süsteemi osade hulka (nt kiilankrud).

VÄLISMÕJU

Vee, õli, ehitusmaterjalide, korrodeerivate ja saastavate ainete esinemine kaablikandesüsteemile. Välismõjudena arvestatakse ka väliseid mehaanilisi jõude, nagu lumi, tuul, sammal ja muud keskkonnamõjud.

ÜHTLASELT JAOTUNUD KOORMUS (UDL)

Koormus, mis on üle kindla pinna jaotunud ühtlaselt (uniformly distributed load).



Konetie 25, fi-90620 Oulu
+358 207 450 800
meka@meka.eu
www.meka.eu