

Planering av stålhall för båtvarv

Ingående utredningar för planeringen

Christoffer Holländer

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Christoffer Holländer
Utbildning och ort: Ingenjör (YH), byggnads- och samhällsteknik,
Vasa
Inriktning: Konstruktionsplanering
Handledare: Anders Borg

Titel: Planering av stålhall för båtvarv – Ingående utredningar för planeringen

Datum: 13.5.2024

Sidantal: 66

Bilagor: 7

Abstrakt

Detta examensarbete är utfört åt företaget HL-Metal Oy Ab. Syftet med arbetet var att planera en stålhall för underhålls- och reparationsarbete på arbetsbåtar och färjor. Byggnaden placeras invid havet och utrustas med två traverskranar samt stora dörrar i byggnadens gavlar. Examensarbetets teoridel behandlar en del sådant, som är väsentligt att beakta vid konstruktionsplanering av denna och andra typers hallar, alltså teori om lastframtagning, dimensionering och utformning av traverskranbanor samt ytbehandling av stål. Arbetet redovisar också en del av planeringsarbetet.

Den första delen av arbetet omfattar en teoretisk översikt i de olika aspekterna som i detta examensarbete valts ut med tanke på byggnadens placering, klimatet vid byggnaden samt verksamheten i byggnaden. Både yttre och inre konstruktioner kommer att exponeras för saltvatten och byggnaden kommer utsättas för starka vindar. Byggnadens bärande och stabiliserande konstruktioner har en brandklass på R30 vilket även kräver brandskyddsbehandling av konstruktionerna.

Metoderna för konstruktionsplaneringen var manuella beräkningar i programmet Mathcad där lasterna beräknades och kranbanan dimensionerades samt modellbaserad beräkning i programmet Robot Structural Analysis. Slutresultatet presenteras i slutet av arbetet och som bilagor.

Språk: svenska

Nyckelord: lastframtagning, traverskranbana, ytbehandling, EN 1993, brandskydd

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Christoffer Holländer
Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka,
Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu
Ohjaaja: Anders Borg

Nimike: Teräshallin suunnittelu venetelakalle – Suunnittelua koskevat yksityiskohtaiset selvitykset

Päivämäärä: 13.5.2024

Sivumäärä: 66

Liitteet: 7

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty yritykselle HL-Metal Oy Ab. Työn tarkoituksena oli suunnitella teräshalli työveneiden ja lauttojen huolto- ja korjaustöitä varten. Rakennus sijoitetaan merenrantaan ja varustetaan kahdella siltanosturilla sekä rakennuksen päätyihin suurilla ovilla. Opinnäytetyön teoriaosa käsittelee asioita, jotka ovat tärkeitä ottaa huomioon tämän ja muuntyyppisten hallien suunnittelussa, eli teoriaa kuormitusanalyysistä, siltanosturiratojen mitoituksesta ja suunnittelusta sekä teräksen pintakäsittelystä. Työssä esitellään myös osa suunnittelutyöstä.

Työn ensimmäiseen osaan kuuluu teoreettinen katsaus rakennuksen sijainnin, rakennuksen ilmaston sekä rakennuksen toiminnan perustuen. Rakennus altistuu voimakkaille tuulille ja sekä ulko- että sisä rakenteet voivat altistua suolavedelle. Rakennuksen kantavien ja vakauttavien rakenteiden paloluokka on R30, mikä edellyttää myös rakenteiden palosuojelukäsittelyä.

Suunnittelun menetelmiä olivat Mathcad-ohjelman manuaaliset laskelmat, joissa kuormat laskettiin ja nosturirata mitoitettiin, sekä mallipohjainen laskelma Robot Structural Analysis -ohjelmassa. Lopputulos esitetään työn lopussa ja liitteinä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: kuormitusanalyysi, siltanosturirata, pintakäsittely, EN 1993, palosuoja

BACHELOR'S THESIS

Author: Christoffer Holländer
Degree Programme: Construction and Civil Engineering,
Vaasa
Specialisation: Structural engineering
Supervisor: Anders Borg

Title: Designing of Steel Hall for Boatyard – Detailed Investigation for the Design Process

Date: 13.5.2024

Number of pages: 66

Appendices: 7

Abstract

This thesis is written on behalf of the company HL-Metal Oy Ab. The purpose of the work was to make structural planning of a steel hall for maintenance and repair work on work boats and ferries. The building is situated next to the sea and is equipped with two overhead cranes and large doors in the gables of the building. The theory part of the thesis presents several things that are essential to consider in the design planning of this and other types of halls, i.e. theory of load analysis, dimensioning and design of overhead cranes and surface finishing of steel. The work also accounts for some of the planning work.

The first part of the thesis includes a theoretical overview in the various topics selected regarding the location of the building, the climate at the building and the operation of the building. The building will be exposed to strong winds and both exterior and interior structures will be exposed to salt water. The load-bearing and stabilizing structures of the building have a fire class of R30, which also requires fire protection treatment of the structures.

The methods for the design planning were manual calculations in the program Mathcad where loads were calculated and the cranes runway beam was dimensioned, and model-based calculation in the program Robot Structural Analysis. The results are presented in the end of the thesis and as appendices.

Language: swedish

Key words: load analysis, runway beam, surface finishing, EN 1993, fire protection

INNEHÅLLFÖTECKNING

1	INLEDNING.....	1
1.1	Beställare och bakgrund	1
1.2	Syfte och mål.....	2
1.3	Forskningsfrågor	3
1.4	Disposition och avgränsning.....	3
2	TEORI OM LASTANALYS OCH FÖRFARANDET VID LASTFRAMTAGNING.....	4
2.1	Allmänna och naturliga laster.....	4
2.1.1	Egentyngd	4
2.1.2	Nyttolast.....	5
2.2	Snölast.....	6
2.2.1	Snölastens karakteristiska värde på tak	6
2.2.2	Sadeltak.....	8
2.2.3	Lokala effekter.....	9
2.3	Vindlast.....	10
2.3.1	Medelvindhastighet.....	11
2.3.2	Hastighetstryck.....	13
2.3.3	Formfaktorer.....	14
2.3.4	Utvändiga formfaktorer för vertikala väggar	15
2.3.5	Utvändiga formfaktorer för byggnader med sadel- och motfallstak.....	16
2.3.6	Vindlastens karakteristiska värde och resulterande vindlast	17
3	LASTER FRÅN TRAVERSKRANAR	19
3.1	Vertikala traverskranlaster	20
3.2	Horisontala traverskranlaster	20
3.2.1	Tröghetskraft.....	21
3.2.2	Styrkraft.....	22
3.2.3	Buffertkraft.....	23
3.3	Dynamiska faktorer och lastgrupper	24
4	METODER FÖR FÖRBEHANDLING OCH YTBEHANDLING AV STÅL	25
4.1	Korrosion	25
4.1.1	Korrosionsklasser	26
4.1.2	Förebygga korrosion.....	28
4.2	Förbehandling av stål.....	29
4.2.1	Blästring.....	30
4.2.2	Manuell bearbetning.....	31
4.2.3	Behandling med vatten, lösningsmedel, eller kemikalier.....	31

4.2.4	Behandling av svetsar, skärkanter och defekta stålytor	32
4.3	Målning	32
4.3.1	Färg och färgsystem	32
4.3.2	Bindemedel och målfärgstyper	34
4.3.3	Färgsystemets hållbarhetsklass	34
4.3.4	Skiktjocklek.....	35
4.4	Förzinkning.....	36
4.4.1	Varmförzinkning	38
4.4.2	Termisk sprutförzinkning.....	40
4.4.3	Målning på förzinkade ytor	41
4.5	Brandskyddsytbehandling	42
4.5.1	Brandskyddsmålning.....	42
4.5.2	Brandskydd applicerat genom sprutning	43
5	TRAVERSKRANBANOR	44
5.1	Rältyper	44
5.2	Klassificering av traverskranar	46
5.3	Dimensionering av traverskranbana	46
5.3.1	Snittkrafter	47
5.3.2	Beräkningar i brottgränstillstånd	47
5.3.3	Beräkningar i bruksgränstillstånd.....	50
5.3.4	Utmattning.....	51
5.4	Utformning.....	54
5.4.1	Travershylla	54
5.4.2	Detaljer vid stöd och balkskarv	55
6	REDOVISNING AV HALLENS DIMENSIONERING.....	56
6.1	Brandklass och val av ytbehandling.....	56
6.2	Egenvikter.....	58
6.3	Snölast.....	58
6.4	Vindlast.....	59
6.5	Traverskranlaster och dimensionering av kranbanorna	59
6.6	Modellbaserad beräkning.....	59
7	SLUTRESULTAT	61
8	DISKUSSION	62
9	KÄLLFÖRTECKNING	64

BILAGEFÖRTECKNING

Bilaga 1	Redovisning av lastutredning – Egenvikter
Bilaga 2	Redovisning av lastutredning – Snölast
Bilaga 3	Redovisning av lastutredning – Vindlast
Bilaga 4	Redovisning av lastutredning för och dimensionering samt utformning av traverskranbanan och val av ytbehandling
Bilaga 5	Utgångsvärden för dimensionering av traverskranbanan från tillverkaren
Bilaga 6	Konstruktionstyper
Bilaga 7	Baslastfall

1 INLEDNING

Vid planering av stålkonstruktioner som placeras invid havet finns det många aspekter som behöver beaktas för att få ett bra slutresultat. Detta examensarbete behandlar några väsentliga aspekter som behöver beaktas. Arbetet utmynnar sedan i planering av en hall för ett båtvarv. Hallar ämnade för varvsindustri utrustas ofta med traverskranar för att bland annat möjliggöra effektivitet och säkerhet. Detta medför att arbetet även behandlar en traverskranbanas dimensionering och utformning. Arbetet är gjort inom programmet Byggnads- och samhällsteknik och omfattar 15 studiepoäng.

1.1 Beställare och bakgrund

Beställaren av detta examensarbete är företaget HL-Metal Oy Ab. Företagets kontors- och produktionsutrymmen är belägna i Pargas, södra Finland. Företagets verksamhet består främst av tillverkning av stålkonstruktioner, underhållsarbete åt industriföretag samt tillverkning, reparation och underhåll av arbetsbåtar och färjor. År 2016 startades en bifirma vid namn HL Marine Service & Workboats och man började satsa mer på den marina delen av företagets verksamhet.

År 2021 började företaget arrendera ett gammalt hamnområde i närheten av Pargas centrum där Pargas Kalk till mitten av 1900-talet vinterförvarade sina fartyg och pråmar. Det har inte skett någon verksamhet på området på tiotals år och därför krävs en upprustning av området för att kunna utföra arbete på området på ett ändamålsenligt sätt. Företaget renoverar bland annat en gammal båtslip som finns på området för att möjliggöra att dra upp båtar och färjor på land. För att göra arbetet vid båtslipen mer effektivt och säkert har företaget planerat bygga ett väderskydd runt båtslipen. Detta skulle möjliggöra arbete i torr miljö samt att man kan arbeta vid slipen året runt oberoende av väder. Jag blev föreslagen att planeringen av hallen skulle kunna fungera som ämne för mitt examensarbete. Väderskyddet utformas som en hall i stål och bygglovsritningar för byggnaden är gjorda av ett lokalt företag. Byggnaden blir cirka 18 meter bred och 50 meter lång. I figur 1.1 kan man se en skiss av byggnaden.



Figur 1.1 Skiss av byggnaden i 3D gjord av företaget Archipelago Design (Archipelago Design Oy, 2022)

1.2 Syfte och mål

Målet med detta examensarbete var att planera ett väderskydd för service av arbetsbåtar och färjor åt uppdragsgivaren. Väderskyddet har utformats som en stålhall. Stålhallen har utformats och utrustats så att det skall kunna uppfylla sin tilltänkta uppgift. I denna typ av hallar behövs stora öppningar och fria ytor för att kunna ta in stora båtar och färjor. Dessutom behövs en hög fri höjd inne i hallen. För att kunna uppfylla beställarens önskemål krävs goda lösningar. Exempelvis fås tillräcklig stabilitet i sidled med hjälp av vertikala fackverk utanför byggnaden på byggandens långsida för att möjliggöra stora öppningar i gavelväggarna.

Syftet vara att skapa en hållbar och stabil konstruktion som klarar av påfrestningar av hård vind, exponering av havsvatten samt belastningar som uppstår på grund av verksamhetens art. Bland annat utrustas byggnaden med två traverskranar. För att kunna uppfylla syftet med arbetet gjordes först en teoretisk fördjupning där väsentlig teori behandlades. Konstruktionernas utformning bör planeras noggrant eftersom de skall skyddas mot både korrosion och brand. Och underhåll av synliga ytor bör vara möjlig. För att uppfylla syftet med en ändamålsenlig konstruktion dimensionerades byggnaden även mot upphängningslast, vilket möjliggör installationer av diverse teknik i väggar och tak. För att uppnå en lämplig hållbarhet utnyttjades inte mer än ca 80% av den totala bärförmågan hos de flesta profiler.

1.3 Forskningsfrågor

Forskningsfrågorna för detta arbete kommer basera sig på sådant som är väsentligt med tanke på att uppfylla arbetets syfte och mål. Forskningsfrågorna lyder:

1. Vilka typer av laster är väsentliga vid dimensionering av en industrihall belägen vid kusten, nära öppet hav?
2. Vilka metoder finns för ytbehandling av stål samt vilka standarder bör följas?
3. Hur skall en stålkonstruktion ytbehandlas så att den klarar av industri- och kustförhållanden?
4. Hur ska en traverskranbana dimensioneras och utformas?

1.4 Disposition och avgränsning

Efter diskussioner med beställare, planeringsbyrån som är involverad i projektet samt handledaren från Novia, bestämdes att planering av grunden för hallen inte tas med i detta examensarbete. Valet baserar sig bland annat på att arbetet annars skulle bli för omfattande. Nu läggs fokuset i stället endast på stålstommen och utvalda teoriavsnitt.

Examensarbetet byggs upp med en teoridel som behandlar lastframtagning, för- och ytbehandling av stål samt dimensionering och utformning av traverskranbanor. En fördjupning sker i de nämnda aspekterna där främst teori som behövs för att uppfylla detta examensarbets mål och syfte behandlas. I teoridelen behandlas inte lastfallskombinationer även om det hör till lastframtagning. Detta beslut baserar sig på att byggnaden kommer dimensioneras i en programvara där lastfallskombinationer kan genereras automatiskt baserat på de baslastfall som användaren skapat.

Efter teoridelen redovisas planeringen av hallen. Alltså processen för framtagningen av de laster som verkar på byggnaden, dimensioneringen och utformning av kranbanorna samt val av ytbehandling för stommen. Dessa redovisas i kapitel 6 samt bilagor. Stommens stabilitets- och hållfasthetsberäkningar utförs i programvaran Robot Structural Analysis Professional 2024 och resultatet redovisas inte i sin helhet i detta dokument, på grund av dess omfattning.

2 TEORI OM LASTANALYS OCH FÖRFARANDET VID LASTFRAMTAGNING

En väsentlig del vid dimensionering av bärande konstruktioner är att ta reda på hurdana krafter som kommer att verka på konstruktionen man dimensionerar samt hur stora dessa krafter kommer att vara under uppförandet av konstruktionen och under konstruktionens livslängd.

2.1 Allmänna och naturliga laster

För att bestämma karakteristiska värden på laster som bör beaktas vid dimensionering skall man följa anvisningarna i Eurokoden 1991–1 samt de tillhörande nationella bilagorna. Laster delas in i tre olika huvudgrupper, dessa är egentygnd, nyttolast och naturliga laster. Egentyngd är tyngden från bärande byggnadsdelar, icke-bärande byggnadsdelar, fasta installationer som till exempel hissar, ventilationssystem och fast elektronik samt löst material som ingår i en konstruktion, alltså ballast och liknande. Egentyngden klassas som en permanent och bunden last (SS-EN 1991-1-1, 2011, kap 2.1). Om egentyngden kan variera i storlek under sin verkningstid, till exempel på grund av varierande fuktkvot, bör detta beaktas med ett minsta och högsta värde för egentyngden. (Sumkin, Mononen, Kärnä, Tikanoja, & Åström, 2017, ss. 31, 67)

Nyttolast är last som uppkommer vid brukandet av en byggnad, alltså last från människor, maskiner, lösa möbler och så vidare som kan röra på sig eller går att flytta på. Nyttolast klassas därför som en rörlig fri last. Dynamiska laster uppstår vid rörelse. Sådana laster kallas kvasistatiska laster och kan beroende på dess dynamiska effekter på konstruktionen antingen inkluderas direkt i nyttolasten, eller indirekt med en förstöringskoefficient som läggs på nyttolasten. Vid större dynamiska effekter behandlas de som skilda dynamiska laster. (SS-EN 1991-1-1, 2011, kap. 2.2) (NA(Fi) 1991-1-1, 2016)

2.1.1 Egentyngd

Egentyngden för en konstruktion skall beräknas enligt nominella mått från ritningarna på konstruktionen. För tungheten, eller mer känt som densitet, skall karakteristiska värden användas. Man bör observera att tungheten för ett material kan variera mycket beroende på till exempel materialets fuktkvot och typen på material. Olika träarter har olika tunghet

och så vidare. Detta bör alltid beaktas vid val av tyngd för aktuell beräkning. För tyngder av fasta installationer och maskiner kan man se EN 1991-3 eller företrädesvis kontakta tillverkaren av en specifik produkt för att få exakta värden. Även för förtillverkade byggnadsdelar, skall tillverkarens värden föredras. I bilaga A i 1993-1-1 hittas densiteten för olika material. (SS-EN 1991-1-1, 2011 kap. 4.1, 5.1 & 5.2)

2.1.2 Nyttolast

Beroende på vad en byggnad eller delar av den skall användas till så skall den tilldelas en eller flera användningskategorier. Användningskategorierna presenteras i kapitel 6.3 i EN 1991-1-1. Det finns fem vanliga kategorier, A-E, och en del mindre vanliga, FL samt F, G H, I och K. Dessa representerar var och en olika användningsändamål. För varje kategori ges värden på hur stor nyttolast som kan belasta golv eller bjälklag. Värdena ges i två former, som last per kvadratmeter och som en punktlast, se tabell 2.1. Det första värdet skall antas verka jämnt fördelat över bjälklaget medan punktlasten skall verka på en godtycklig punkt på bjälklaget. Punktlasten finns till för att ge en ändamålsenlig lokal bärförmåga hos bjälklaget och ytmaterialiet. Punktlasten och ytlasten belastar inte bärverket samtidigt. (SS-EN 1991-1-1, 2011, kap. 6.3)

Tabell 2.1. Nyttig last för mellanbjälklag, balkonger och trappor enligt kategori.

Kategorier av belastade utrymmen	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (trappor inom parantes)
	Mellanbjälklag	Trappor	Balkonger	
Kategori A Lokaler för boende och inkvartering	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Kategori B Kontorslokaler	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Kategori C Lokaler där människor kan samlas				
C1	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
C2	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
C3	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
C4	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
C5	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Kategori D Affärslokaler				
D1	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
D2	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)

* Trappor i bostäder $Q_k = 1,5$ kN

(NA(Fi) 1991-1-1, 2016, s. 2)

2.2 Snölast

Snölast är en naturlig last vars storlek beror på geografiskt läge och lokala förhållanden så som läge i förhållande till havet, vegetationen kring byggplatsen och klimatet. Snölasten påverkas även långsiktigt av globala klimatförändringar, till exempel den globala uppvärmningen. I Finland skall snölastens värde bestämmas i enlighet med Eurokoden 1993–1–3 samt miljöministeriets förordning om nationella val beträffande snölast (Markanvändnings- och bygglagen 132/1999, 1999). Enligt dessa skall snölasten klassificeras som statisk verkande last på en konstruktion. I normala fall skall snölasten klassificeras som en variabel, fast last och skall antas verka vertikalt mot en yta som motsvarar en horisontalprojektion av taket. Snölasten skall skilt bestämmas för varje konstruktion. (SS-EN 1991-1-3, 2003, kap 2, 3.1 & 5.2)

Beräkning av karakteristisk snölast på tak delas in i två dimensioneringssituationer, tillfällig/varaktig dimensionerings situation och exceptionell dimensioneringssituation. Vilken av dessa som skall användas beror på hurdana förhållanden som råder för den konstruktion som man dimensionerar. Det finns två olika förhållanden som man utgår ifrån, normala förhållanden och exceptionella förhållanden. För normala förhållanden gäller att tillfällig/varaktig dimensioneringssituation skall tillämpas. (SS-EN 1991-1-3, 2003, kap. 3) I Finland tillämpas inte exceptionella förhållanden (NA(Fi)-1991-1-3, 2016, 8 §).

2.2.1 Snölastens karakteristiska värde på tak

Snölastens karakteristiska värde på ett tak skall bestämmas med följande ekvation för varaktiga/tillfälliga dimensioneringssituationer:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (\text{SS-EN-1991-1-3 (5.1)})$$

där, μ_i är snölastens formfaktor

C_e är en exponeringsfaktor som beaktar topografin kring byggplatsen

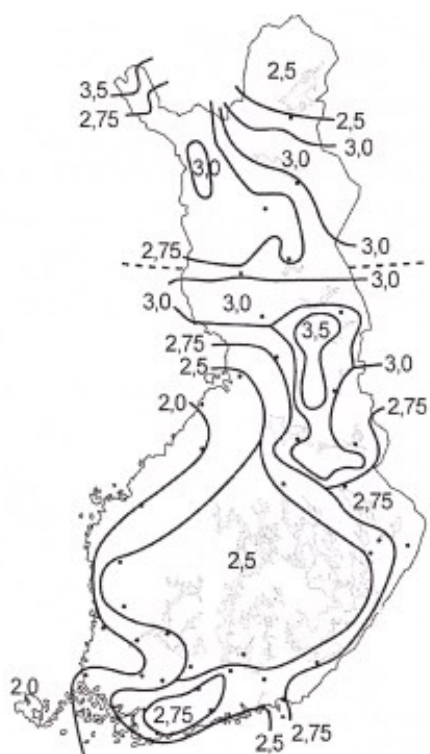
C_t är en termisk faktor

s_k är karakteristiska värdet för snölast på mark

Det karakteristiska värdet för snölast på mark s_k är ett värde för snömängden på marken som med 2% sannolikhet överskrids under ett år. Detta betyder att snölasten på marken i teorin överskrids en gång på 50 år. Karakteristiska värden för snölast på mark för olika orter

i Finland ges i den nationella bilagan till EN 1991-1-3, se figur 2.1. Enheten för värdena är kN/m^2 och vid behov interpoleras värdena linjärt mellan kurvorna (Sumkin m.fl., 2017 s. 98). Man kan vid specialfall göra en statistisk analys av data från mätningar under många års tid. Då får man mer lokala och noggranna värden än de som ges i den nationella bilagan. (SS-EN 1991-3, 2006, kap. 4.1)

Exponeringsfaktorn eller vindskyddsfaktorn C_e , är en faktor som beaktar terrängen kring byggplatsen, alltså hur utsatt byggnaden kommer att vara för vind. Terrängen för området kring byggnaden bör beaktas vid byggnadsskedet samt för hela byggnadens livslängd (SS-EN 1991-1-3, 2003, kap. 5.2). Om man antar att terrängen kan ändra under byggnadens livslängd kan man behöva beakta det vid val av storlek på faktorn. Värden på exponeringsfaktorn finns i tabell 2.2. För större byggnader med sidomått på över 50 meter skall exponeringsfaktorn ökas med en koefficient enligt tabell 2.3.



Figur 2.1. Värden för snölast på mark. (NA(Fi)-1991-1-3, 2016, s. 2)

Den termiska faktorn C_t är en faktor som beaktar minskad snölast på grund av smältning förorsakad av värmeläckage genom taket. Värmeläckage kan ske vid äldre byggnader med dåliga U-värden. Faktorn sätts dock oftast till 1. Undantag kan göras om noggrannare utredningar av takets värmegenomgångskoefficient görs, direktiv för hur en sådan utredning skall göras hittas i RIL 198. (Sumkin m.fl., 2017, s. 101)

Tabell 2.2. Värden på exponeringsfaktorn beroende på omgivningen topografi.

Topografi	C_e
Vindutsatt ^a	0,8
Normal ^b	1,0
Skyddad ^c	1,2

^a *Vindutsatt topografi:* plan, öppen terräng, vindexponerad i alla riktningar utan skydd eller med lite skydd av terräng, träd och högre byggnadsverk.
^b *Normal topografi:* områden där snön endast i undantagsfall blåser av byggnadsverk, avhängigt terräng, andra byggnadsverk eller träd.
^c *Skyddad topografi:* område för det aktuella byggnadsverket är väsentligt lägre än omgivande terräng eller omgivet av höga träd och/eller omgivet av högre byggnadsverk.

(SS-EN 1991-1-3, 2003, s. 15)

Tabell 2.3. Koefficient som exponeringsfaktorn bör ökas med för byggnader med en kortsida över 50 meter.

Kortsida (m)	Förhållandet mellan långsida och kortsida	
	1	2
50	1,0	1,1
75	1,1	1,2
100	1,2	1,25

(NA(Fi)-1991-1-3, 2016, s. 2)

Formfaktorn μ_i beror på takets typ, form och lutningsvinkel. Formfaktorerna som ges i Eurokoden gäller då snön inte hindras från att falla ned från taket, ifall snöhinder eller annat används så att snön hindras från att åka ner från taket används som formfaktor minst 0,8. Eurokoden 1993–1–3 omfattar fem olika taktyper, dessa är sadeltak, pulpettak, multipeltak, bågformade tak och flernivåtak. Detta examensarbete behandlas endast sadel- och motfallstak. (Sumkin m.fl., 2017, s. 102-106)

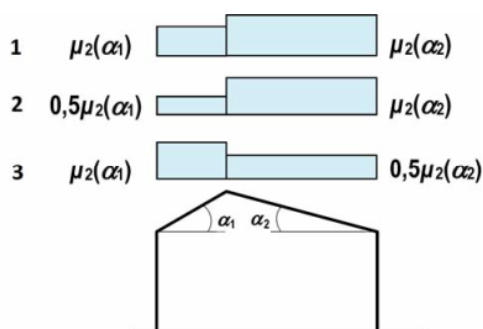
2.2.2 Sadeltak

Sadeltak är en mycket vanlig takform på byggnader av olika slag. Sadeltaket har två plan som sluttar åt motsatt håll och möts vid taknocken som blir byggnadens högsta punkt bortsett från eventuella genomföringar. De två planen kan ha olika vinklar och kan därför också få olika värden på formfaktorn. För sadeltak bör man alltså använda en eller två formfaktorer enligt tabell 3. μ_i fås ur tabell 2.3 och beror alltså på takplanets lutning. För sadeltak skall åtminstone tre lastfall beaktas enligt figur 2.2. Det första beaktar full snölast på båda takplanen, medan de andra beaktar snöns omfördelning efter snödrift eller snöröjning. (SS-EN 1991-1-3, 2003, kap. 5.3.3)

Tabell 2.3. Värden för formfaktorer på sadeltak

Taklutning α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	–

(SS-EN 1991-1-3, 2003, s. 17)



Figur 2.2. Formfaktorer för sadeltak. (SS-EN 1991-1-3, 2003, s. 17)

2.2.3 Lokala effekter

Lokala effekter är olika situationer där snön kan omfördelas och anhopas vid olika ställen på ett tak, som exempel bildas det drivsnö vid hinder på taket. Detta bör beaktas vid dimensionering. Lokala effekter ökar belastningen från snön lokalt. Om taket är utrustat med snöhinder så bör man beakta en kraft som snömassan skapar mot snöhindret, dels för att fastsättningarna ska vara tillräckligt starka, dels för att bärande delar skall klara av lasten. Denna kraft beräknas i enlighet med formel (SS-EN-1991-1-3 (6.5)). Friktionskoefficienten mellan tak och snö kan vid beräkning antas vara noll. (Sumkin m.fl., 2017, s. 109) Vid större takytor kan kraften mot snöhindret bli stort. För att undvika allt för stora krafter kan man lägga in extra snöhinder högre upp på taket, vilka tar upp en del av krafterna.

$$F_s = s * b * \sin(\alpha) \quad (\text{SS-EN-1991-1-3 (6.5)})$$

där, α är takets lutning i grader

b den horisontella längden från taknocken till hindret

s är snölasten på taket, opåverkad av snödrift

En väsentlig lokal effekt är snödrift kring hinder på taket. Hindren kan orsaka att det uppstår platser på taket som blir i lä, dessa platser orsakar drivor av snö, som belastar bärverket mer än normalt, se figur 2.3. Följande ekvation bör användas för att bestämma formfaktorn för snöfickan som bildas på grund av snödriften:

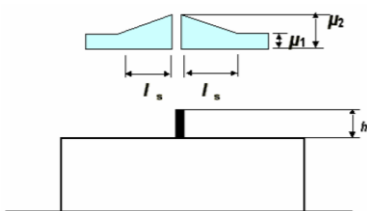
$$\mu_1 = 0.8 * \mu_2 = \gamma * \frac{h}{s_k}$$

där, γ är snöns densitet och kan sättas till 2kN/m^3 (SS-EN-1991-1-3 (6.1))

dock $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$ (SS-EN-1991-1-3 (6.2))

Snöfickans längd beräknas enligt följande ekvation:

$$l_s = 2 * h \quad \text{dock, } 2\text{m} \leq l_s \leq 6\text{m} \quad (\text{SS-EN-1991-1-3 (6.3) + NA (fi)})$$



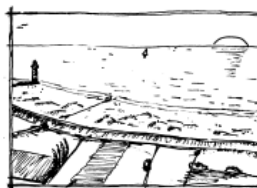
Figur 2.3. Formfaktorer och snöfickans längd för hinder på tak. (SS-EN 1991-1-3, 2003, s. 22)

2.3 Vindlast

Eurokod 1991–1–4 samt den nationella bilagan ger anvisningar för hur vindlasten på en konstruktion tas fram i Finland. Anvisningarna gäller för hela konstruktioner som är under 200 meter höga eller för enskilda delar på en konstruktion. Vindlasten skall tas fram enskilt för varje konstruktion och konstruktionsdel som skall beräknas. Vindlasten anses allmänt vara en variabel fast last och anses alltid verka vinkelrätt mot en yta. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap. 3) Framtagningen av vindlast baserar sig på en referensmätning av vindhastigheten på ett område med öppen terräng och låg vegetation, i likhet med terrängklass II i figur 4. Referensmätningen sker i 10 minuter på 10 meters höjd från markytan, höjden över hav tas eventuellt också i beaktande. Resultatet från referensmätningen justeras sedan enligt en riktningsfaktor och en årstidsfaktor vilket sedan resulterar i ett referensvärde. I Finlands nationella bilaga ges ett referensvärde som skall användas överallt i Finland. Referensvärdet, v_b , är i Finland 21 m/s (NA(Fi)-1991-1-4, 2016, 2 §). Risken för att referensvärdet överskrids är 2% per år, alltså en gång på 50 år. I

Terrängtyp 0

Havs- eller kustområde exponerat för öppet hav.



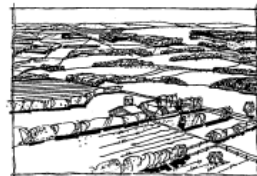
Terrängtyp I

Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder.



Terrängtyp II

Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder (träd, byggnader) med minsta inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd.



Terrängtyp III

Område täckt med vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd (t. ex. byar, förorter, skogsmark).



Terrängtyp IV

Område där minst 15 % av arean är bebyggd och där byggnadernas medelhöjd är > 15 m.



Figur 2.4. Terrängtyper samt dess definitioner (SS-EN 1991-1-4, 2005, s. 85)

Eurokoden delar man in landskap i fem olika terrängtyper: 0-IV, se figur 2.4. En terrängtyp skall väljas för varje projekt och denna baseras på hur terrängen på byggplatsen ser ut. Vid beräkning av vindlastens inverkan på en konstruktion skall man beakta utvändigt och invändigt vindpåverkan. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap. 1.6.1 & 4.2). Vindlasten har stor inverkan på byggandets stabilitet.

2.3.1 Medelvindhastighet

Medelvindhastigheten är en vindhastighet där vindhastighetens referensvärde är justerat med beaktande av terrängens yta och form för den aktuella platsen. Medelvindhastigheten beräknas med följande ekvation:

$$V_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.3)})$$

Topografifaktorn, $c_0(z)$, sätts allmänt till 1, men noggrannare uträkningar kan göras. Faktorn beaktar enskilda höjder och slänter i terrängen som kan öka medelvindhastigheten vid dessa områden. Faktorn gäller inte vågformiga och bergiga områden där terrängen ändrar form hela tiden. Noggrannare utredningar skall göras om topografin runt byggnaden ökar vindens hastighet med 5%. Om topografins medellutning är under 3 grader i lovartriktningen kan denna faktor försummas. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap. 4.3.3 & A3)

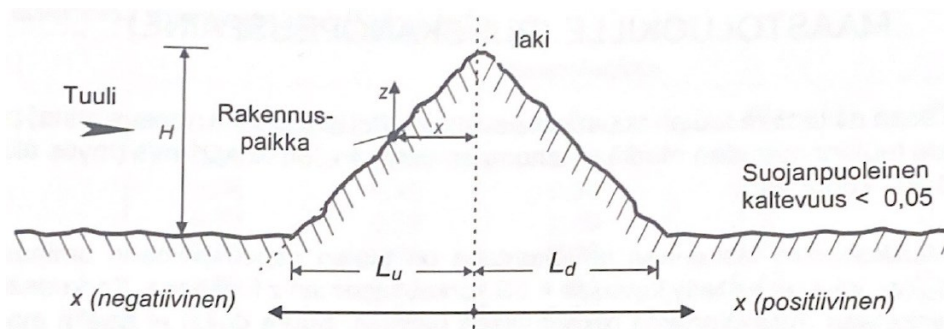
Topografin kan beaktas med en förenklad metod som presenteras i RIL 210-1-2017, och som ger resultat på säkrare sidan. Metoden ger en faktor γ_D som multipliceras med det karakteristiska hastighetstrycket under förutsättningen att topografifaktorn valts till 1, eftersom γ_D ersätter topografifaktorn. Vindhastigheten ändras på grund av höjdens eller släntens lutning på lovarsidan. Lutningen uttrycks i radianer och beräknas enligt $\phi = H/L_u$ eller $\phi = H/L_d$ där H är höjdens eller släntens effektiva höjd och L_u och L_d är backens längd, se figur 2.5 och 2.6. Om terrängens lutning är under 0,05 radianer sätts $\gamma_D = 1$. Faktorn kan beräknas med formlerna nedan:

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \phi * (1 + \frac{x}{L_u}) \quad \text{då } x < 0 \quad (\text{RIL 210-1-2017 (4.2S)})$$

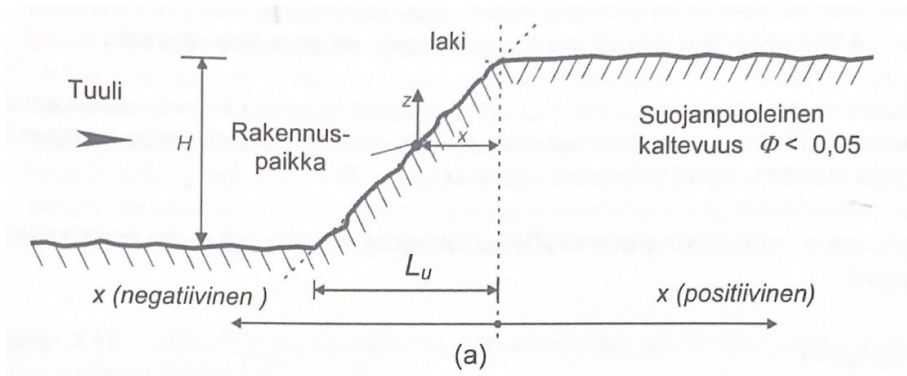
$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \phi * (1 - 0,33 * \frac{x}{L_u}) \quad \text{då } x \geq 0 \quad (\text{RIL 210-1-2017 (4.2S)})$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \phi * (1 + \frac{x}{L_u}) \quad \text{då } x < 0 \quad (\text{RIL 210-1-2017 (4.3S)})$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \phi * (1 - 0,47 * \frac{x}{L_d}) \quad \text{då } x \geq 0 \quad (\text{RIL 210-1-2017 (4.3S)})$$



Figur 2.5. Definitioner för bestämning av γ_D för en kulle. (Sumkin m.fl., 2017, s. 135)



Figur 2.6. Definitioner och diagram för bestämning av γ_D för en slänt. (Sumkin m.fl., 2017, s. 134)

Formlerna (4.2S) gäller för byggnader i slänter där det sker en permanent förändring i terrängen och formelerna (4.3S) gäller för byggnader belägna i åsar eller kullar. (Sumkin m.fl., 2017, s. 133-134)

Terrängens råhetsfaktor, $c_r(z)$, beaktar att medelvindhastigheten varierar beroende på höjden från marken, samt råheten på marken. z är den höjd från markytan som beaktas. Råhetsfaktorn beror på terrängtyp i enlighet med tabell 4 och beräknas med ekvationerna nedan. (SS-EN 1991-1-4, 2005)

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{för} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.4)})$$

$$c_r(z) = k_r * (z_{min}) \quad \text{för} \quad z \leq z_{min} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.4)})$$

$$\text{där, } k_r = 0.19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,ll}}\right)^{0,07} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.5)})$$

$$z_{0,ll} = 0,05 \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.5..)})$$

$$z_{max} = 200m \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.5..)})$$

För terrängtyp 0 är $k_r = 0.18$ i Finland, enligt den nationella bilagan (NA(Fi)-1991-1-4, 2016, 3 §).

Tabell 2.4. Koefficienter för råketslängden beroende på terrängtyp.

Terrängtyp		z_0 m	z_{min} m
0	Havs- eller kustområde exponerat för öppet hav.	0,003	1
I	Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder.	0,01	1
II	Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder (träd, byggnader) med minsta inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd.	0,05	2
III	Område täckt med vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd (t. ex. byar, förorter och skogsmark).	0,3	5
IV	Område där minst 15 % av arean är bebyggd och där byggnadernas medelhöjd är > 15m.	1,0	10
ANM. Terrängtyperna är illustrerade i A.1.			

(SS-EN 1991-1-4, 2005, s. 20)

2.3.2 Hastighetstryck

Det karakteristiska hastighetstrycket mot en konstruktion baseras på medelvindhastigheten och dess korttidsvariationer samt höjden ovan mark. Hastighetstrycket skall tas fram enligt ekvationen nedan.

$$q_p(z) = \left(1 + 7 * l_v(z)\right) * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.8)})$$

För luftens densitet ρ används värdet 1,25kg/m³ (NA(Fi)-1991-1-4, 2016, 4 §). Faktorn l_v beaktar intensiteten av turbulensen på en beaktad höjd z och beräknas med ekvationerna nedan:

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z)} * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{för } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.7)})$$

$$l_v(z) = l_v(z_{min}) \quad \text{för } z < z_{min} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.7)})$$

Turbulensens standardavvikelse σ_v bestäms med ekvationen nedan:

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.6)})$$

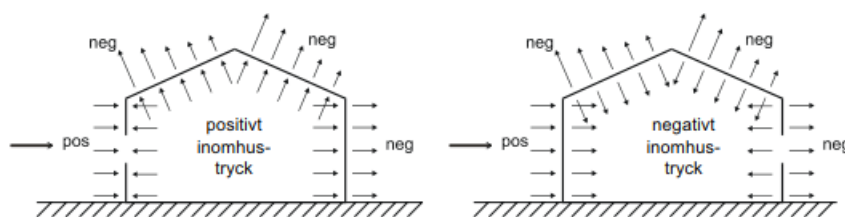
Turbulensfaktorn k_l sätts till 1 och råketslängden z_0 tas från tabell 2.4. q_b är referenshastighetstrycket och räknas ut med följande ekvation:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (4.10)})$$

2.3.3 Formfaktorer

Eurokoden behandlar formfaktorer för byggnader med följande taktyper: sadel- och motfallstak, plana tak, pulpettak, valmade tak, multipeltak samt bågformade tak och kupoler. Formfaktorer för vertikala väggar behandlas också, dock endast för rektangulära byggnader. Storleken på formfaktorn beror på byggnadens form och vindens förmåga att ta sig runt byggnaden. (Sumkin m.fl., 2017, s. 146, 148-161) Detta arbete behandlar endast sadel- och motfallstak.

Formfaktorer för en konstruktion kan ges som faktorer för nettovindlast, ut- och invändig last och för total kraft på en konstruktion. Formfaktor för nettovindlast är skillnaden mellan trycket på två sidor av en vägg. Exempelvis kan formfaktorn för en ytterväggs nettovindlast beräknas genom att addera formfaktorerna som verkar på väggens båda sidor. Formfaktor för total kraft ger vindens totala inverkan på en konstruktion eller konstruktionsdel. För byggnader ges formfaktorn som faktorer för ut- och invändig last, se figur 2.7. Dessa definieras som c_{pe} och c_{pi} , där e står för exterior (sv. utvändig) och i för interior (sv. invändig). Vindens inverkan på både byggnadens yttre och inre ytor beaktas och skall anses verka samtidigt. Formfaktorer för utvändig last är beroende av den belastade ytans storlek. Ytor på 1m² eller mindre kallas lokala. Ytor större på 10m² eller större kallas globala. För beräkning av infästningar och mindre element används lokala formfaktorer medan man för helheter använder globala faktorer. För ytor med en storlek mellan 1-10m² tillämpas linjär interpolation mellan ett lokalt och globalt värde. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap 1.6 & 7.2.1)



Figur 3.7. Utvändigt och invändigt tryck.

De invändiga värdena på formfaktorer beror på mängden och placeringen på öppningar i byggnadens mantel. Med öppningar menas fönster, dörrar, genomföringar och läckage i manteln. Öppningarna i byggnadens mantel kan antas vara stänga då man beräknar den invändiga formfaktorn, så länge öppningarnas funktion inte kräver att de kan behöva öppnas också vid hård vind. I fall där en öppning kan behöva användas oberoende av vindförhållandet skall exceptionell dimensionerings situation användas. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap 7.2.9)

För fall där en sida av byggnaden har dubbelt mera öppningsbar yta än byggnadens övriga mantelytor tillsammans, räknas formfaktorn för invändig vindlast enligt ekvation SS-EN-1991-1-4 (7.1). För fall där en sida av byggnaden har minst tre gånger så stor öppningsbar yta som de andra mantelyternas totala öppningsbara yta, beräknas formfaktorn enligt ekvation SS-EN-1991-1-4 (7.2). Interpolation kan användas om den öppningsbara ytan för en sida ligger mellan två och tre gånger de andra mantelyternas öppningsbara ytors area.

$$c_{pi} = 0,75 * c_{pe} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (7.1)})$$

$$c_{pi} = 0,90 * c_{pe} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (7.2)})$$

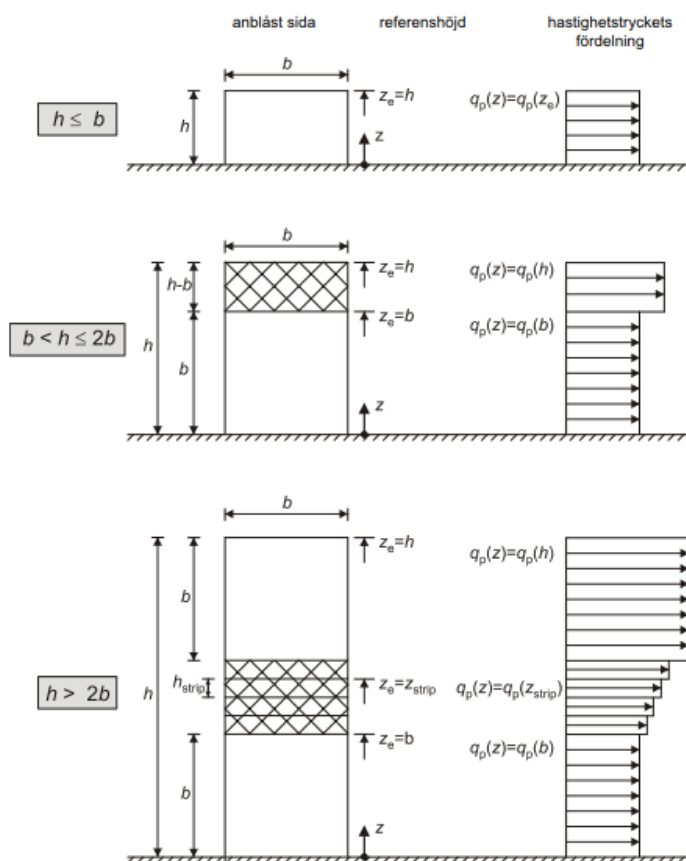
c_{pe} är formfaktorn för utvändig vindlast på den sida som har mest öppningar. Referenshöjden för den invändiga vindlasten bör sättas samma som referenshöjden för den utvändiga lasten vid den sida som är gällande. Vid situationer där man inte kan räkna ut areor för öppningar ska det mer ogynnsamma av värdena +0.2 (tryck) och -0.3 (sug) användas. (Sumkin, m.fl., 2017, s.161-163)

2.3.4 Utvändiga formfaktorer för vertikala väggar

Beroende på byggnadens geometri delas byggnadens väggar in i olika vertikala tryck- och sugzoner. Oberoende av vindriktning får alla fyra väggar åtminstone en zon. Den vägg som vinden blåser mot utsätts för tryck medan de andra väggarna utsätts för sug på grund av turbulensen som uppstår. Vid bestämning av formfaktorer för rektangulära byggnader bör alltid de värsta vindriktningarna vara de som man utgår ifrån. Dessa vindriktningar är vinkelrätt in mot byggnadens väggar och vinkelrätt ut från byggnadens väggar. Detta sker vid två fall, då vind blåser vinkelrätt mot byggnadens långsida och då vinden blåser vinkelrätt mot byggnadens gavel. Zonernas storlek och mängd beror på hur vindens turbulens beter sig kring bygganden samt byggnadens form. Zonernas indelning sker enligt figur 7.5 i EN 1991-1-4 och formfaktorerna tas från tabell 7.1 i samma standard. Höga byggnader kan även delas in i horisontala zoner. Vindens hastighet ökar ju högre upp i luften man kommer. Detta på grund av att vinden möter mindre motstånd, alltså växlighet, bebyggelse, berg och så vidare och bör beaktas vid dimensionering av höga byggnader. Vid framtagning av vindlast delas en byggnad in i en till tre horisontella zoner. Referenshöjden för vindtrycket z_e sätts alltid till zonens övre kants höjd. Indelning i zoner bygger på villkoren nedan och figur 2.8.

- Byggnader där villkoret $h \leq b$ uppfylls har endast en zon.
- Byggnader där villkoret $b < h < 2 * b$ uppfylls delas in i två zoner, där den nedre zonen har en höjd som motsvarar byggnadens bredd b .
- Byggnader där villkoret $h > 2 * b$ uppfylls delas in i tre delar där den nedersta och den översta delen har höjden som motsvarar byggnadens bredd b , och den mittersta delen delas in i strimlor med höjden h_{strip} .

Indelningen av horisontella zoner för sidoväggar och läsidan sker på samma sätt som för trycksidan. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap 7.2.2)



Figur 2.8. En byggnads indelningen i vindzoner för formfaktorer, beroende på byggnadens höjd. (SS-EN 1991-1-4, 2005, s. 33)

2.3.5 Utvändiga formfaktorer för byggnader med sadel- och motfallstak

Vid bestämning av formfaktorer för tak används samma princip som för väggar, alltså delas taket in i olika zoner. Zonindelningen och formfaktorer för varje zon hittas exempelvis i RIL 201-1-2017 kapitel 7.2.5. (Sumkin m.fl., 2017 s.155-157) På mindre tak är det möjligt att zonerna vid takhörnen på den vindutsatta sidan blir mindre än tio kvadratmeter, vilket bör beaktas vid val av formfaktor. Mindre zoner påverkas hårdare av vinden.

2.3.6 Vindlastens karakteristiska värde och resulterande vindlast

Vindlastens karakteristiska värde ger grunden för beräkningar av hur en byggnad påverkas av vind. Vid beräkning av resulterande vindlast fås en linjelast eller en punktlast där vindens totala tryck från en yta koncentreras till exempelvis en rampelare eller pelartopp. Den resulterande vindkraften kan användas vid beräkning av en byggnads helhetsstabilitet eller vid beräkning av exempelvis stjälpning. Vindlasten kan skilt beräknas för in- och utvändiga ytor. För beräkning av dessa vindlaster används ekvationerna nedan:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (5.1)})$$

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (5.2)})$$

Vid fall där man har en utkragande takfot skall undersidan av den utkragande delen antas ha samma vindlast som väggen under har. Alltså trycker vinden den utkragande delen uppåt, vilken ökar den lyftkraft som vinden orsakar takzonerna (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap. 5.2 & 7.2.1). Kraftresultanten från vind kan beräknas med ekvation nedan, för en helhet eller en del av en helhet:

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (5.3)})$$

där, $c_s c_d$ är en bärverksfaktor

A_{ref} är en referensyta för den aktuella helheten eller delen, mot vinden

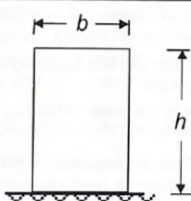
c_f är en formfaktor för kraften som verkar på helheten eller delen

Bärverksfaktorn är uppdelad i en storleksfaktor och en dynamisk faktor. Där storleksfaktorn beaktar att vindlast inte nödvändigtvis påverkar en hel större yta samtidigt, och den dynamiska faktorn beaktar rörelse i en konstruktion på grund av turbulensen som vinden orsakar. Bärverksfaktorn kan sättas till 1 i följande fall:

- Byggnadens höjd är under 15 meter
- Egenfrekvensen för tak- och väggelement är under 5 Hertz
- För byggnader med ramverksstommar med avstyvande väggar och som är lägre än 100 meter och höjden fyra gånger mindre än byggnadens längd i vindriktningen

För andra byggnader och konstruktioner kan bärverksfaktorn beräknas enligt ekvationen nedan. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap. 6)

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 * k_p * l_v(z_s) * \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 * l_v(z_s)} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (6.1)})$$

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$ Välialueella $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ sovelletaan interpolointia. Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.

Figur 2.9. Anvisningar för beräkning av byggnadens effektiva slankhet. (Sumkin m.fl., 2017 s. 140)

Tabell 2.5. Formfaktorn för kraft baserat på effektiv slankhet och förhållandet mellan d/b .

λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

(Sumkin m.fl., 2017 s. 141)

Formfaktorn för kraft c_f kan för byggnader eller byggnadsdelar med rektangulära tvärsnitt tas fram enligt figur 2.9 och tabell 2.5. Formfaktorn beror på byggnadens slankhet. Slankheten beror på förhållandet mellan höjden och bredden. En hög och smal byggnad är slank. En slank byggnad påverkas hårdare av vind och ett större värde fås. Förhållandet d/b i tabell 5 räknas genom att ta byggnadens längd parallellt med vindriktningen delat med byggnadens bredd vinkelrätt mot vinden. (Sumkin m.fl., 2017, s. 140-141)

Friktionskrafter kan uppstå för långa byggnader. Friktionskraften är en horisontell kraft och påverkar därför byggnadens stabilitet. Friktionen uppstår då vinden blåser parallellt med en yta. En grov yta kan absorbera vinden bättre än en slät yta. Detta orsakar att grövre ytor orsakar mer friktion. Friktionskraften som uppstår på grund av vind parallellt med en yta kan beräknas enligt följande:

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr} \quad (\text{SS-EN-1991-1-4 (5.7)})$$

c_{fr} är en koefficient som beror på ytans grovhet, ju grövre ytan är desto större blir friktionen. Friktionsfaktorn för några vanliga material fås från tabell 2.6. A_{fr} är den area av en struktur som anses orsaka friktion. Arean beräknas med ytor som ligger på ett avstånd

av antingen två gånger byggnadens bredd vinkelrätt mot vinden eller fyra gånger byggnadens höjd, från lovartsidans kanter. Det mindre avståndet väljes. Friktionskraften kan försummas om arean av de med vinden parallella ytorna är lika med eller mindre än fyra gånger arean av de ytor som är vinkelräta med vindens riktning. (SS-EN 1991-1-4, 2005, kap 7.5)

Tabell 2.6. Friktionskoefficient baserat på en ytas grovhet.

Yta	Friktionskoefficient c_{fr}
Slät (t. ex. stål, jämn betong)	0,01
Ojämn (t. ex. ojämn betong, asfaltpapp)	0,02
Mycket ojämn (t. ex. profilering vinkelrät vindriktningen)	0,04

(SS-EN 1991-1-4, 2005, s. 60)

3 LASTER FRÅN TRAVERS KRANAR

Last från traverskranar skall klassificeras som variabla laster eller olyckslaster. Kranens egentyngd har en permanent storlek men på grund av att kranen och trallan rör sig under manövrering och belastar en viss punkt av bärverket olika mycket beroende på deras positioner skall den tolkas som en variabel last. Eftersom kranbryggan och trallan kan röra på sig är kranlasterna dynamiska. Vid dimensionering vill man dock ha statiska laster att räkna med. Därför finns det dynamiska faktorer som beaktar de dynamiska effekternas inverkan på bärverket, se kapitel 3.3. De variabla kranlasterna delas upp i två huvudgrupper: vertikala och horisontala laster. Olyckslast kan uppstå om kranen kolliderar med kranbanans ändstopp eller om kranlasten kolliderar med något. (SS-EN 1991-3, 2006, kap 2.2.1 & 2.2.2).

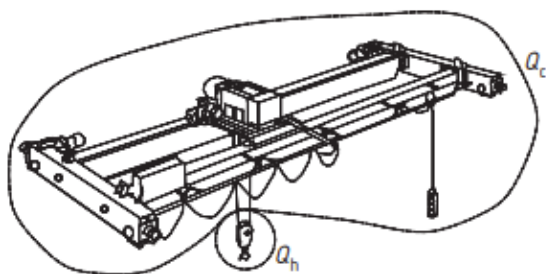
De vertikala och horisontala lasterna flyttas via kranhjulen och eventuellt också via kranens styrdon om sådana finns, till kranbanan via rälen och vidare till den bärande och stabiliserande stommen. De horisontala lasterna överförs till rälen via friktion mellan hjulen och rälen. De vertikala lasterna förs över till rälen genom kontakttryck mellan hjulen och rälen. (Husson, 2016, s. 9).

I kapitel 2 i EN 1991-3 hittas anvisningar för att bestämma karakteristiska lastvärden på kranbanebalkar. Dessa anvisningar är jämförbara med de standarder som ger regler för

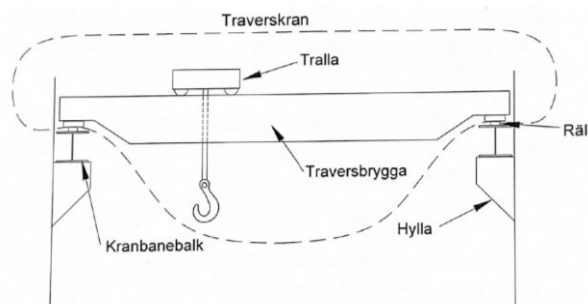
dimensionering av själva traverskranen, EN 13001–1 och 13001–2. (SS-EN 1991-3, 2006, kap 2.1) I Finland skall man i första hand använda laster som ges av krantillverkaren. (NA(fi)-1991-3, 2016, 2 §)

3.1 Vertikala traverskranlaster

Som vertikal last räknas kranens egenvikt, alltså vikten från kranbryggan och trallan samt andra fasta och rörliga delar och utrustning förutom fästdonet och en del av lyftlinorna. Egenvikten betecknas Q_c . Som vertikal last räknas även lyftlast Q_h , alltså vikten från det som lyfts, samt lyftdonet och en del av lyftlinorna. Se figur 3.1 och 3.2. Egenvikten och lyftlasten summeras ihop för att få det vertikala hjultrycket, Q_r . Lastsituationen som ger det största hjultrycket på en kranbana är då trallan är placerad så nära ena sidans kranbana som möjligt, med maximal lyftlast, $Q_{r,max}$. Då trallan är placerad så långt bort från den ena kranbanan som möjligt och med minimal lyftlast, fås den minsta lastbilden, $Q_{r,min}$. En excentricitet skall beaktas på den vertikala lasten, excentriciteten e skall vara 25% av rälhuvudets bredd, b_r . (SS-EN 1991-3, 2006, kap. 1.4 & 2.5.2.1)



Figur 3.1. Kranens egenvikt och lyftlast. (SS-EN 1991-3, 2006, s. 8)



Figur 3.2 En traverskrans huvudsakliga komponenter (Husson, 2016, s. 1)

3.2 Horisontala traverskranlaster

Det finns fem sorters horisontala laster som bör beaktas vid dimensionering av kranbanan och den bärande stommen. Dessa presenteras nedan. De horisontala krafterna påverkar kranbanebalkarna i både den veka och styva riktningen. Dessa laster bör beaktas vid dimensionering av byggnadens stabilitet.

3.2.1 Tröghetskraft

Tröghetskraft är kraft från kranbryggans acceleration och inbromsning, $H_{L,i}$ och $H_{T,i}$. $H_{L,i}$ verkar längs med kranbanan medan $H_{T,i}$ verkar tvärs kranbanan. Dessa kallas för tröghetslaster. Kraften längs traversbanan räknas med formeln nedan:

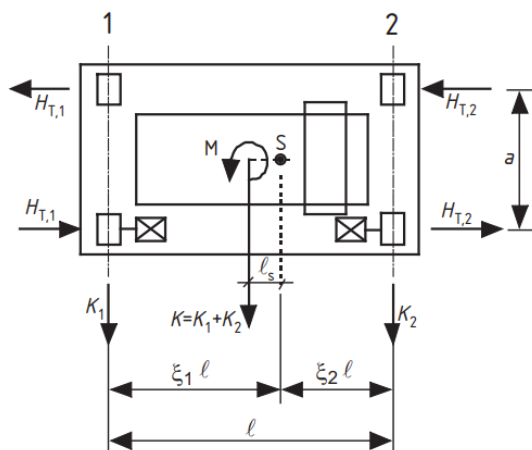
$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * 0.5 \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.2)})$$

där, φ_5 är en dynamisk faktor som beaktar inverkan av drivande hjul

K är kranens drivkraft och bör begäras av tillverkaren om hjulen har styrsystem, annars kan den beräknas med formeln nedan:

$$K = \mu * m_w * Q_{r.min} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.5..)})$$

μ är en friktionskoefficient som för kontakt med stål-stål är 0,2 och stål-gummi är 0,5 och m_w är antalet drivande hjul



Figur 3.3. Definition av horisontella laster tvärs kranbanan. (SS-EN 1991-3, 2006, s. 22)

$H_{T,i}$ uppstår på grund av en excentricitet l_s mellan traversens drivkrafts verkningslinje S_k och traversens tyngdpunkts S position, se figur 3.3. Tyngdpunkten varierar såklart då trallans position och lyftlast ändras. Drivkraftens verkningslinje är oftast mitt mellan kranbanorna. Ju längre ifrån mittpunkten trallan är desto större blir excentriciteten och vid inbromsning eller acceleration uppstår då ett rotationsmoment M och lasterna $H_{T,1}$ och $H_{T,2}$ uppstår. Lasterna förs över enbart via friktion och eventuell sidostyrning påverkar inte fördelningen. Lasterna beräknas enligt följande formler:

$$H_{T,1} = \varphi_5 * (1 - \xi_1) * \frac{M}{a} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.3)})$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.4)})$$

där, $M = K * l_s$ (SS-EN 1991-3 (2.4..))

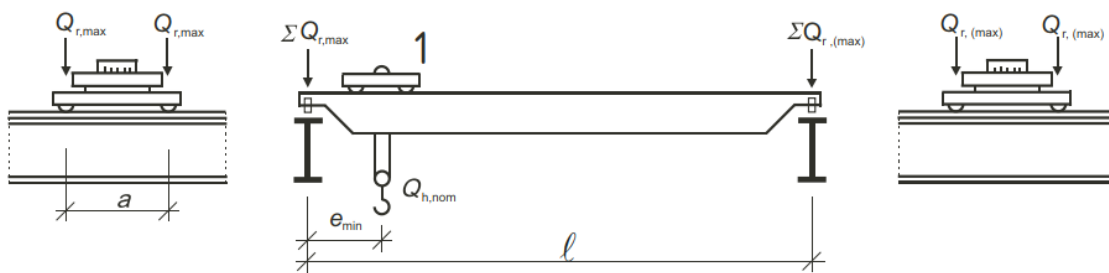
$$l_s = (\xi_1 - 0.5) * l \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.4..)})$$

ξ_1 är förhållandet mellan max hjulkraft och total vertikal kraft enligt formeln nedan och figur 3.4

$$\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{\Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)}} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.4..)})$$

Om man beräknar lasterna för en kran där ena sidans hjul är rörliga i sidled, tas all kraft i tvärled upp av endast den andra sidans hjul. (Husson, 2016, s. 9-10). För beteckningar i formel 2.4.. se figur 3.4.

Horisontala krafter uppstår också då trallan accelereras och bromsar in och betecknas $H_{T,3}$. Även denna är en tröghetslast. Denna last belastas kranbanebalken endast i dess veka riktning. Denna anses vara så liten i förhållande till andra laster och inkluderas därför till den horisontella buffertlasten, $H_{B,2}$, se kapitel 3.2.3. (Husson, 2016, s. 10)



Figur 3.4. Lastsituation som ger störst last på en kranbana då kranen är fullt belastad. $Q_{r,max}$ är hjulasten från hjulen som befinner sig på den sida som trallan befinner sig. $Q_{r,(max)}$ är hjulasten från hjulen på motsatt sida.

3.2.2 Styrkraft

Styrkraft är en horisontal kraft som uppstår på grund av att kranbryggan åker lite snett, så kallad skevgång. Möjligheten till skevgång orsakas av ett litet mellanrum mellan hjulflänsarna och rälen. Spelrummet gör att rälen inte hela tiden kan styra hjulen och orsakar att en liten vinkeländring mellan rälen och traversbryggan kan ske. Om kranen börjar åka snett kommer den kunna göra det ända tills ena främre hjulet tar i rälen och det uppstår en styrkraft där rälen tvingar traversen åka rakt igen. Kraften som uppstår kallas skevgångskraft eller styrkraft, och betecknas S . Styrkraften orsakar att kranbryggan vill börja rotera och för att motstå denna rotation uppstår $H_{S,i,j,T}$ och $H_{S,i,j,L}$ med motsatt riktning. Reaktionskrafterna brukar vara 10–20% av den vertikala hjullasten. (Husson, 2016, s. 10-11)

Hur stor styrkraft som uppstår beror på spelrummets storlek och skevgångsvinkeln, α . Vinkeln bestäms med beaktande på spelrummet mellan styrdonet och rälen, samt att eventuellt slitage kan öka spelrummet med tiden. För att inte orsaka allt för stora reaktionskrafter får skevgångsvinkeln maximalt vara 0,015 radianer. (SS-EN 1991-3, 2006, kap. 2.7.4) Skevgångsvinkeln tas fram med formeln nedan:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0.015 \text{ rad} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.12)})$$

Vinklarna som behövs framgår ur tabell 3.1. Styrkraften och reaktionskrafterna beräknas enligt formlerna nedan:

$$S = f * \lambda_{S,j} * \sum Q_r \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.6)})$$

$$H_{S,i,j,L} = f * \lambda_{S,1,j,L} * \sum Q_r \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.7)})$$

$$H_{S,i,j,T} = f * \lambda_{S,1,j,T} * \sum Q_r \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.9)})$$

$$\text{där, } f = 0,3 * (1 - e^{-250 * \alpha}) \leq 0,3 \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.11)})$$

$\lambda_{S,1,j,T}$ är en kraftfaktor och kan tas fram enligt tabell 2.9 i SS-EN 1991-1-3.

Vinkel α_i	Minsta värde på α_i
$\alpha_F = \frac{0,75x}{a_{\text{ext}}}$	$0,75x \geq 5 \text{ mm}$ för styrrullar
	$0,75x \geq 10 \text{ mm}$ för flänshjul
$\alpha_V = \frac{y}{a_{\text{ext}}}$	$y \geq 0,03b \text{ mm}$ för styrrullar
	$y \geq 0,10b \text{ mm}$ för flänshjul
α_0	$\alpha_0 = 0,001$
Där:	
a_{ext}	är avståndet mellan yttre styrdon eller flänshjul längs styrrälen;
b	är rälhuvudets bredd;
x	är det fria avståndet mellan räl och styrdon (sidogläpp);
y	är slitage på räl och styrdon;
α_0	är tolerans för hjul- och rälriktningar.

Figur 3.1. Bestämning av vinklar för beräkning av skevgångsvinkeln. (SS-EN 1991-3, 2006, s. 24)

3.2.3 Buffertkraft

Buffertkraft H_B är en olyckslast. Denna uppstår då travenskranen kolliderar med något. Traversens last kan exempelvis kollidera med kranbanans ändstopp eller med något föremål om den som manövrerar kranen inte är uppmärksam. Ändstoppet finns till för att

traversen inte ska kunna åka av kranbanan. Buffertkraft kan uppstå både i längsled och i tvärlid beroende på hur kranbanan eller trallan rör sig vid tidpunkten för kollisionen. Buffertkraft tvärs kranbanebalkarna, alltså då trallans krokar med något kan sättas till 10% av trallans och den aktuella lyftlastens tyngd. Eftersom kraften uppstår av en kollision är hastigheten vid kollisionen en stor faktor vid bestämning av kraften som uppstår. (SS-EN 1991-3, 2006, 2.11) För kollision då kranen rör sig längs kranbanan kan buffertkraften räknas ut med formeln nedan:

$$H_{B,1} = \varphi_7 * v * \sqrt{m_c * S_B} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.15)})$$

där, φ_7 är en dynamisk faktor som beaktar elastisk inverkan vid kollision med buffert.

v är kranens hastighet, väljs mellan 70–100% av kranens maximala hastighet

m_c är den totala massan av kranen och lyftlasten

S_B är buffertens fjäderkonstant

3.3 Dynamiska faktorer och lastgrupper

De dynamiska faktorerna beaktar den dynamiska inverkan som de rörliga lasterna från en traverskran orsakar. Det finns sju olika dynamikfaktorer som alla beaktar olika dynamiska effekter, se tabell 3.2. Dessa appliceras på de karakteristiska kranlasterna. De dynamiska faktorerna ges oftast av kranleverantören men kan också tas fram med hjälp av EN 1991–3. Det finns även 2 dynamikfaktorer för utmattningslaster. Enligt formlerna nedan reduceras dessa en aning jämfört med de vanliga faktorerna. Detta beror på att risken för att utmattningslaster verkar på samma ställe av balken många gånger är låg.

$$\varphi_{fat.1} = \frac{1+\varphi_1}{2} \quad \text{och} \quad \varphi_{fat.2} = \frac{1+\varphi_2}{2} \quad (\text{SS-EN 1991-3 (2.19)})$$

Tabell 3.2. Dynamikfaktorernas definitioner.

Dynamikfaktor	Inverkan att beakta	Tillämpas på
φ_1	– excitering av kranen vid lyftning av lyftlasten	kranens egentyngd
φ_2 eller φ_3	– dynamisk inverkan vid överföring av lyftlasten från marken till kranen – dynamisk inverkan vid plötsligt släpp av nyttolast om t. ex. gripskopa eller magnet används	lyftlast
φ_4	– dynamisk inverkan orsakad av att kranen löper längs räil eller kranbana	kranens egentyngd och nyttolast
φ_5	– dynamisk inverkan orsakade av drivande hjul	drivkrafter
φ_6	– dynamisk inverkan av en provlast som förflyttas av drivande hjul på det sätt kranen används	provlast
φ_7	– dynamisk elastisk inverkan vid kollision med buffert	buffertkraft

(SS-EN 1991-3, 2006, s. 14)

För att få fram laster att använda vid beräkning bör karakteristiska kranlaster kombineras med dynamikfaktorer i olika lastgrupper enligt tabell 2.2 i SS-EN-1991-3. De olika lastgrupperna beaktar att olika kranlaster verkar samtidigt och bör därför kombineras. (Husson, 2016, s. 13-14) I bilaga 4 redovisas beräkningsgången för hur dynamikfaktorer och lastgrupper har använts i detta arbete.

4 METODER FÖR FÖRBEHANDLING OCH YTBEHANDLING AV STÅL

Ytbehandling av stål görs för att skydda stålet mot yttre påfrestningar. I vilken mån ett material behöver skyddas beror på dess egenskaper. De grundämnen som stålet innehåller påverkar hur bra stålet klarar av den omgivande miljön. Stål består huvudsakligen av grundämnet järn men för att optimera egenskaperna blandas järnet med kol och andra grundämnen. Kolhalten i konstruktionsstål är ofta mellan 0,05–0,15% av volymen. Som andra grundämnen i stålet kan aluminium, fosfor, kisel, mangan, bor, krom, koppar, nickel, molybden och svavel användas. Niob, vanadin och titan kan också blandas med men i mycket små mängder. Legeringens typ påverkar behovet av korrosionsskydd men också korrosionsskyddets typ. (Papula, 2020, s.19-21)

4.1 Korrosion

Korrosion är ett fenomen som uppstår genom en kemisk reaktion och som löser upp stålet. Stålet fräts på grund av kemiska eller fysikaliska orsaker. Det finns två typiska typer av korrosion, kemisk korrosion och elektrokemisk korrosion. Kemisk korrosion uppstår då järn reagerar med ånga eller gas och en beläggning skapas på ytan. Beläggningen som består av järnoxider kan lossna vilket möjliggör vidare korrosion av ytan. Elektrokemisk korrosion innebär korrosion av metaller i vatten eller fuktig luft. Korrosionen uppstår då två metaller, en elektrokemiskt ädlare och en mindre ädlare, kommer i kontakt med varandra. Den ädlare blir en negativ elektrod och den oädlare en positiv elektrod, vatten eller fukten sluter sedan kretsen eftersom elektricitet leds i vatten, och den elektrokemiskt oädlare av dessa börjar korrodera medan den andra hålls intakt. Eftersom stål främst består av järn som är en oädel metall betyder det att stålet lätt reagerar med sin omgivning och korroderar. För att skydda stålet mot omgivningens påverkan kan man ytbehandla stålet. (Kangaspuoskari

& Papula, 2020, s. 271-274) Ytbehandlingen kan vara målning eller utgöra ett katodiskt skydd, till exempel av zink. Dessa behandlas i kapitel 4.4 och 4.5.

4.1.1 Korrosionsklasser

Miljöer delas in i korrosionsklasser enligt hur aggressiv miljön är för de konstruktioner som finns i där. Standarden SFS-EN ISO 12944–2 delar in korrosion i miljö, så kallad atmosfärisk korrosion, i 6 korrosionsklasser medan korrosion i vatten eller mark delas in i fyra klasser. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 272-274)

Ökad risk för korrosion finns då temperaturen är över noll grader och luftfuktigheten är över 80%. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 271) Föroreningar i luften och smuts som har lagt sig på en yta kan också höja risken för korrosion genom reaktioner med stålet. Detta kan ske vid lägre fukthalter än 80%. Om den korrosionsutsatta ytans temperatur är under daggpunkten för omgivningens luftfuktighet kommer fukten kunna kondensera på ytan vilket ökar risken för korrosion. (SFS-EN ISO 12944-2, 2017, kap 4.1)

Tabell 4.1. De atmosfäriska korrosionsklassernas exempelmiljöer samt ståls och zinks korrosionshastighet under det första året av exponering.

Korrosio- vaikutus- luokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäisen altistusvuoden jälkeen)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä (vain opastava)	
	Matalahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Paino- häviö g/m ²	Paksuus- häviö µm	Paino- häviö g/m ²	Paksuus- häviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit
C2 lievä	> 10...200	> 1,3...25	> 0,7...5	> 0,1...0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä alhainen: enimmäkseen maaseutualueita	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus, rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus	Tuotantotilat, joissa on korkea kosteus ja hieman epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen	Kemialliset tehtaat, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt
C5 hyvin ankara	> 650... 1 500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus korkea ja ilmatila syövyttävä sekä rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus korkea	Rakennukset tai alueet, joilla lähes jatkuvaa kondensoitumista ja saasteiden määrä korkea
CX äärimmäinen	> 1 500... 5 500	> 200... 700	> 60...180	> 8,4...25	Offshore-alueet, joilla suolapitoisuus korkea ja teollisuusalueet, joilla kosteus on äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä sekä subtrooppiset ja trooppiset ilmastot	Teollisuusalueet, joilla kosteus äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä

HUOM. Korrosiovaikutusluokissa käytetyt häviöarvot ovat yhtäpitävät standardin ISO 9223 arvojen kanssa.

(SFS-EN ISO 12944-2, 2017, s. 10)

Omgivningen där den aktuella konstruktionen finns påverkar risken för korrosion. Är konstruktionen placerad utomhus under öppen himmel utsatt för regn, är risken större än för en konstruktion placerad inomhus i en varm miljö. Inomhus kan dock luftfuktigheten i vissa fall vara relativt hög eller förorenad vilket kan orsaka korrosion. (SFS-EN ISO 12944-2, 2017, kap 4.1)

Konstruktioner som delvis eller helt är nedgrävda i jord eller nedsänkta i vatten skall beaktas noggrant. Den del av konstruktionen som befinner sig vid markytan eller vattenytan kan påverkas hårt av korrosion. Vid nedsänkning i vatten finns det många saker som kan påverka korrosionen så som vattnets syrehalt, salthalt, temperatur och föroreningar. Korrosionsgraden i marken beror på mineraltyper och -mängd samt variationer i dessa, syrehalt och grundvattennivå. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 274)

De atmosfäriska korrosionsklasserna benämns C1, C2, C3, C4, C5, CX, där C1 betyder att risken för korrosion är mycket låg och C5 att risken för korrosion är mycket hög. C5 kan vidare delas in i C5-I och C5-M där skillnaden är att C5-I gäller för industriområden och C5-M gäller för marina områden (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 523-524). CX betyder att risken för korrosion är extremt hög och denna klass väljs för konstruktioner i offshore-områden med hög salthalt eller industriella områden med mycket hög fukthalt eller förorenad atmosfär. Vilken kategori som väljes kan baseras på de exempelmiljöer som ges för varje klass i tabell 4.1 eller undersöka den aktuella miljön och baserat på det välja kategori. Korrosionsklasserna för mark och vatten delas in 4 klasser, Im1, Im2, Im3 och Im4. Exempelmiljöer ges i tabell 4.2. (SFS-EN ISO 12944-2, 2017, kap 5.1)

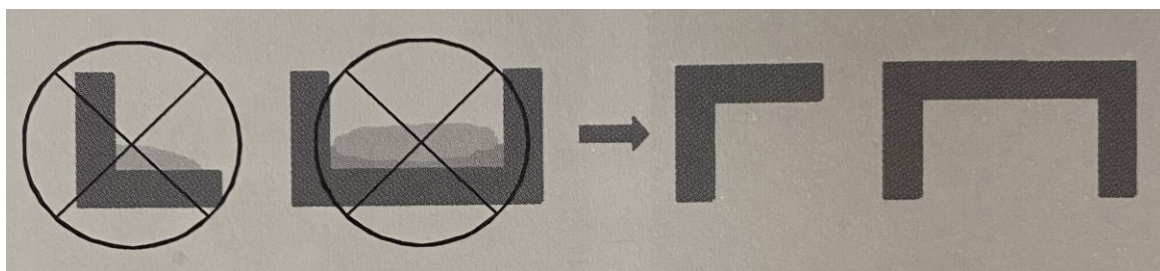
Tabell 4.2. Korrosionsklasser i vatten och mark och exempelmiljöer.

Luokka	Ympäristö	Esimerkkejä ympäristöstä ja rakenteista
Im1	Makea vesi	Jokirakenteet, vesivoimalat
Im2	Meri- tai murtovesi	Upotetut rakenteet ilman katodista suojausta (esim. satama-alueen rakenteet kuten patoluukut, sulkulaitteet, laiturit)
Im3	Maaperä	Maanalaiset säiliöt, teräspaalut, teräsputket
Im4	Meri- tai murtovesi	Upotetut rakenteet katodisuojauskella (esim. offshore-rakenteet)
HUOM. Korroosiovaikutusluokalle Im1 ja Im3 voidaan käyttää katodisuojausta testattavan maaliyhdistelmän kanssa.		

(SFS-EN ISO 12944-2, 2017, s. 11)

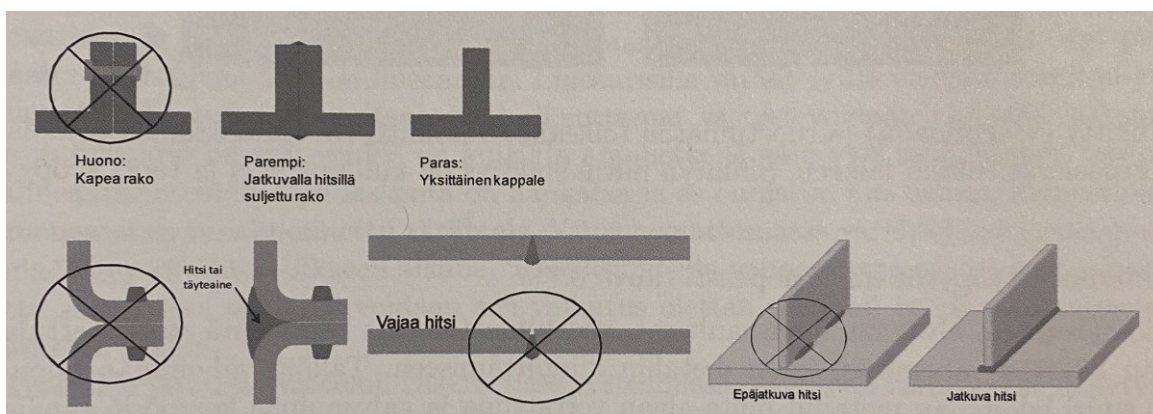
4.1.2 Förebygga korrosion

Risken för korrosion varierar beroende på omgivande miljö och konstruktionens utformning. Vid planeringen av konstruktionens utformning har konstruktören möjlighet att påverka risken för korrosion. För elektrokemisk korrosion, se kapitel 4.1, behövs syre, två metaller som rör varandra och vatten eller fukt. Genom att få bort eller reducera en eller flera av dessa kan man minska risken för korrosion. I många fall kan man vid planeringen reducera tillgången på vatten eller fukt. Man skall undvika att det finns möjlighet för vatten- och smutsansamlingar på konstruktionen. Platser där ansamlingar lätt sker är öppna profiler som ligger med öppningen uppåt, se figur 4.1. Om dessa vänds upp och ner är risken att smuts, fukt och vatten samlas liten. Är upp och ner vändning inte möjligt bör man förse profilen med dräneringshål. Dräneringshålen skall vara så stora att de inte stockas. (Kangaspuuskari & Papula, 2020, s. 274-280)



Figur 4.1. Öppna profiler skall vändas upp och ner för att undvika smuts- och vattenansamlingar. (Kangaspuuskari & Papula, 2020, s. 279)

Vid fall där två profiler ligger fästa mot varandra bör man antingen rostskydda ytorna väldigt noga före anliggning eller svetsa fast profilerna med kontinuerliga svetsar runt om, se figur 13. Intermittenta svetsar skall inte användas. För att få ett bättre resultat vid ytbehandling bör konstruktionerna göras så enkla som möjligt. Släta ytor och konstruktioner med så lite svåråtkomliga och trånga utrymmen som möjligt bör



Figur 4.2. Anvisningar för att undvika springor och spaltkorrosion. (Kangaspuuskari & Papula, 2020, s. 279)

eftersträvas. Detta på grund av att förbehandling, målning och underhåll av ytorna skall vara möjlig. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 194) Alternativt bör skyddet vara så bra att det håller hela konstruktionens livslängd (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 279). Om rörprofiler och andra ihåliga konstruktioner svetsas täta anses att korrosion inte sker på insidan och behöver inte rostskyddas där. Sådana lösningar är fördelaktiga eftersom det blir en mindre yta som behöver rostskyddas. Om det dock finns risk att det slutna utrymmet öppnas eller risk för kondensbildning inuti bör även de invändiga ytorna rostskyddas. (SFS-EN ISO 12944-2, 2017, kap B.1.2)

Då man planerar konstruktioner som är utsatta för korrosion är det bättre att använda svetsade förband än bult- eller nitförband. Detta på grund av att svetsade anslutningar mellan två profiler är enklare att skydda. Bultar man fast delarna finns det risk för korrosion vid anläggningen. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 279)

En metod för skydd mot korrosion kan vara att man accepterar korrosion genom att välja tjockare profil än vad som skulle behövas med tanke på hållfastheten. Då finns det lite extra stål som får korrodera utan att hållfastheten blir för liten. Om man inte har möjlighet att skydda stålet mot korrosion kan man även använda sig av rostfritt stål för att få en bra livslängd. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 275 & 279)

4.2 Förbehandling av stål

Före beläggning av rostskydd behöver stålets yta behandlas för att det applicerade skyddet skall fungera som planerat. Vid dålig förbehandling kommer rostskyddet oberoende av typ och beläggningssätt inte fungera som skyddande. När en yta förbehandlas rengörs den från fetter, glödska, olja, rost, salter, fukt, och föroreningar för att möjliggöra god vidhäftning och för att få bort korrosionsframkallande föroreningar. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 186) Stålytor som ska förbehandlas kan vara i väldigt olika skick före behandlingen. Det gäller att göra skillnad på om man har en obehandlad yta där stålet kommit direkt från fabrik eller en yta på en konstruktion som exponerats för diverse påfrestningar under en 20 års tid. Detta i kombination med kraven på den nya beläggningen bestämmer förbehandlingen typ. Vid förbehandling av en konstruktions ytor bör alla delar och anslutningar beaktas. Svetsars ytor, plåtkanter och stålytor med lokala fel bör uppfylla de krav som ställs på dem enligt SFS-EN ISO 8501-3. (SFS-EN ISO 12944-4, 2017, kap 4)

Standarden SFS-EN ISO 12944-4 presenterar två typer av förbehandling, primär förbehandling och sekundär förbehandling. Vid primär förbehandling behandlas konstruktionens yta så att endast rent stål finns kvar. Glödskal, rost, beläggningar och föroreningar avlägsnas. Som förbehandlingsgrad på ytan kan väljas mellan Sa, St och Be. Dessa behandlas senare. Vid sekundär förbehandling behandlas stålets yta så att föroreningar, rost och delar av eventuell beläggning avlägsnas. Denna metod kan användas på ytor som är ytbehandlade sedan tidigare. Oskadd beläggning tas dock inte bort. Som förbehandlingsgrad på ytan kan väljas mellan P Sa, P St och P Ma. (SFS-EN ISO 12944-4, 2017, kap. 7.1)

Obehandlat ståls ytor delas in i klasser beroende på ytans rostighetsgrad. Enligt standarden SFS-EN ISO 8501-1 finns det fyra rostighetsgrader, A, B, C och D, där A representerar ytor som är i bäst skick. (SFS-EN ISO 8501-1, kap. 2)

Förbehandling av stålytor kan delas in i förbehandling med mekaniska metoder och förbehandling med vatten, lösningsmedel eller kemikalier. Ofta behöver man använda båda metoderna eftersom de avlägsnar olika saker från stålets yta och på det viset kompletterar varandra. SFS-EN ISO 8501-1 och 1801-2 presenterar olika typer av mekaniska förbehandlingsalternativ. För varje alternativ ges klasser på hur noggrant förbehandlingen utförs. Dessa kallas noggrannhetsklasser. Vilken förbehandlingsmetod som skall användas beror på ytbehandlingens typ samt vad konstruktionen kommer utsättas för. Ju noggrannare förbehandlingen görs desto längre livslängd kan stålkonstruktionen få. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 187)

4.2.1 Blästring

Blästring är ett av alternativen av förbehandling. Standarderna ger 4 olika noggrannhetsklasser för blästringens slutresultat. Förbehandling med blästring betecknas "Sa" samt en siffra som anger noggrannheten. Sa 1, Sa 2, Sa 2½ och Sa 3 är de klasser som finns för icke tidigare belagt stål. Sa 1 ger det minst noggranna resultatet och Sa 3 ger det noggrannaste resultatet. (SFS-EN ISO 8501-1, 2007, kap. 3.2) P Sa 1, P Sa2, P Sa 2½ och P Sa 3 är klasserna för stål som har ytbeläggning från tidigare och vid dessa tas färgen bort olika mycket. (SFS-EN ISO 8501-2, 2001, kap 4.2) Vid blästring behandlas stålet med korn som kastas mot stålet. Kornen som används delas in i metalliska och icke metalliska grupper. Metalliska korn betecknas M och icke metalliska korn betecknas N. Det finns olika typer av

blästring. I huvudsak delas blästring in i torr blästring och våt blästring. Innan blästring utförs skall ytan rengöras från fetter, oljor och smuts samt rost. (SFS-EN ISO 8504-2, 2019, kap 4.1, 5 & 6.1)

4.2.2 Manuell bearbetning

Manuell bearbetning är det andra alternativet och betecknas "St". Då rengörs ytan genom skrapning, slipning eller borstning med handverktyg eller maskinellt. Före bearbetning utförs skall ytan rengöras från fetter, oljor och smuts samt rost. Maskinell bearbetning finns i tre utföranden och betecknas för icke tidigare belagda ytor St 1, St 2 och St 3 samt för tidigare belagda ytor P St1, P St2, PSt3. St 1 och P St 1 skall dock inte användas eftersom noggrannheten på ytan efteråt inte lämpar sig för målning. St 3 och P St 3 är det noggrannaste utförandena i detta alternativ. (SFS-EN ISO 8501-1, 2007, kap 3.3) (SFS-EN ISO 8501-2, 2001, kap 4.3) Manuell bearbetning används ofta om svetsar ska utföras på fältet (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 524). För tidigare belagda ytor finns även ett alternativ där ytan rengörs med slipmaskin, P Ma. Ytan behandlas då med till exempel sandpapper eller stålborste. Färg som sitter hårt lämnas oskadd medan resten av ytan behandlas så att rent stål syns. (SFS-EN ISO 8501-2, 2001, 4.4)

4.2.3 Behandling med vatten, lösningsmedel, eller kemikalier

För förbehandling med vatten, lösningsmedel eller kemikalier finns det 8 metoder presenterade i standarden SFS-EN ISO 12944-4. Några av dessa är rengöring med vatten, ånga, emulsioner, alkalier, målningsborttagningsmedel eller organiska lösningsmedel. De nämnda metoderna renar stålets yta genom att ta bort olja, fetter, salter, smuts och liknande föroreningar. Vid kemisk behandling behandlas ytan med kemikalier som gör ytan klar för målning, dock får det inte gå för lång tid mellan den kemiska behandlingen och påbörjandet av målning. Betning är den sista metoden och vid denna metod sänks konstruktionen ner i ett bad av saltsyra eller järnklorid. Vid behandlingen rengörs ytan från glödskalet och rost vilket gör att målfärgen tar bättre fast i ytan. (SFS-EN ISO 12944-4, 2017, kap. 6)

4.2.4 Behandling av svetsar, skärkanter och defekta stålytor

Förbehandling av svetsars ytor, skärkanter och stålytor där lokala fel eller skador förekommer delas in i tre klasser: P1, P2 och P3. Dessa definierar svetsarnas, skärkanternas och ytornas finhet. Saker som bör beaktas vid val av klass är följande: stänk från svetsar, svetsprofilens släthet, svetslagg, storleken på smältdiken vid svets, svetsen porositet, kvaliteten på ändkratrar, skärkanters rundning, rundning vid hål, kvaliteten på brända kanter, kratrar och lokal korrosion på stålytan, mängden valsrester, främmande material som valsats in och fåror och skråmor av mekaniska orsaker. Ju bättre yta som eftersträvas efter förbehandlingen ju högre klass skall väljas. P3 är den högsta klassen. De metoder som används för att uppnå dessa klasser får inte på ett negativt sätt påverka svetsarna eller stålytan. (SFS-EN ISO 8501-3, 2007, kap. 4)

4.3 Målning

Stålkonstruktioner målas främst för att skydda ytan mot påfrestningar så som korrosion och brand. Alla stålkonstruktioner behöver inte skyddas. Dock kan det finnas estetiska krav på konstruktionen vilket gör att man vill ytbehandla den ändå. En mycket vanlig ytbehandling som används för att uppfylla estetiska krav är målning. Målfärg kan ges olika egenskaper för att uppfylla olika krav. Beroende på vilka krav som ställs på en målade yta ser appliceringsmetoderna och målningssystemet olika ut. För att en målade yta ska få sina tilltänkta egenskaper behöver förbehandlingen av ytan, se kapitel 4.2, och appliceringen av målningen utföras korrekt samt att rätt färgsystem används. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 188-191) I detta kapitel behandlas målningssystem som används för att skydda stålkonstruktioner mot korrosion.

4.3.1 Färg och färgsystem

En färg eller en färgkombination benämns ofta på basen av de bindemedel färgen eller färgerna innehåller. Bindemedel är en av fyra huvudkomponenter i färg. De tre andra huvudkomponenterna är pigment, lösningsmedel eller vatten samt tillsatsmedel. Bindemedlet binder ihop färgen och har därför en mycket viktig roll. Pigmentet ger färgen en kulör, lösningsmedlet ger färgen en lämplig viskositet och tillsatsmedel ger färgen speciella egenskaper beroende på vilken typ av tillsatsmedel som används. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 190-191)

Ett färgsystem kan bestå av flera olika färger och flera olika lager. Hurdant färgsystem som skall användas beror bland annat på underlagets typ och skiljer sig exempelvis mellan vanligt stål och förzinkat stål (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 278). Alla färger och lager uppfyller olika uppgifter för att skydda den underliggande ytan. De finns tre typiska lager i ett färgsystem. Dessa är grundfärg eller primer, mellanfärg och täckfärg. Grundfärgen eller primern är det första lagret och dess uppgift är att uppnå tillräcklig vidhäftning med underlaget samt att ge ett isolerande, passiverade eller katodiskt skydd som skyddar mot omgivningen. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 190) I vissa miljöer behövs endast ett lager med målfärg, i dessa fall fungerar grundfärgen även som täckfärg. Grundfärgen kan delas in i två grupper baserat på pigmentet som den innehåller. Den första gruppen är grundfärg som innehåller zinkdamm och betecknas Zn(R), där zinkdamms andel av vikten i det härdade lagret är över 80%. Den andra gruppen är alla andra typer av grundfärger och betecknas sek. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 7.1.2)

Mellanfärgens uppgift är främst att skydda mot korrosion. Den skall dock också bygga upp skiktjockleken för färgsystemet, samt förbättra vidhäftningen mellan grundfärgen och täckfärgen. Mellanfärg används alltså endast om färgsystemet består av minst tre lager. Täckfärgen är det översta och synliga färglagret. Dess uppgift är att skydda de underliggande lagren, skydda mot korrosion, skapa en slät yta som är lätt att rengöra samt ge kulör åt konstruktionen. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 190-191) Ytans glans och beständighet bestäms delvis av bindemedlet och därför bör valet av bindemedel beaktas då man väljer täckfärg (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 7.2.3).

Tabell 4.3. Målsystem för korrosionsklass C5 enligt standarden EN ISO 12944-5. För stålytor.

Yhdis-telmän nro	Pohjuste				Seuraavat kalvot	Maaliyhdistelmä		Kestävyys			
	Sideai-ne-tyyppi	Poh-ja-maa-li-tyyppi	Kalvojen luku-määrä	NDFT µm	Sideai-ne-tyyppi	Kalvojen luku-määrä	NDFT µm	l	m	h	vh
C5.01	EP, PUR, ESI	sek.	1	80...160	EP, PUR, AY	2	180	X			
C5.02	EP, PUR, ESI	sek.	1	80...160	EP, PUR, AY	2...3	240	X	X		
C5.03	EP, PUR, ESI	sek.	1	80...240	EP, PUR, AY	2...4	300	X	X	X	
C5.04	EP, PUR, ESI	sek.	1	80...200	EP, PUR, AY	3...4	360	X	X	X	X
C5.05	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60...80	EP, PUR, AY	2	160	X			
C5.06	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60...80	EP, PUR, AY	2...3	200	X	X		
C5.07	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60...80	EP, PUR, AY	3...4	260	X	X	X	
C5.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60...80	EP, PUR, AY	3...4	320	X	X	X	X

Lisäksi polyuretaaniteknologialle voivat olla muut pinnoiteteknologiat soveltuvia esim. polysiloksaanit, polyaspargiini ja fluori-polymeeri [fluorieteeni/vinyylieetteri kopolymeeri (FEVE)].

HUOM. Lyhenteet ks. [taulukko A.1.](#)

(SFS-EN ISO 12944-5, 2019, s. 22)

I detta kapitel behandlas endast färgsystem för underlaget stål. Standarden SFS-EN ISO 12944–5 presenterar olika färgsystem som skyddar mot korrosion. Varje färgsystem benämns med kombinationsnummer. För färg direkt på stål börjar kombinationsnumret med C. Detta nummer, färgsystemets innehållande färgers bindemedel samt antalet lager, MNOC, och det totala lagertjockleken, NDFT (se kapitel 4.4.4), ger färgsystemets namn. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 8) Exempel på målsystem ses i tabell 4.3 och figur 4.3.

SFS-EN ISO 12944-5 C5.02 EPPUR 240/3

Standardens namn	Målsystem/målkombination	
	Innehållande färgers bindemedel	
	Total tjocklek i mikrometer och totala antalet lager	

Figur 4.3. Exempel på målsystem som kan användas på en ritning över en stålkonstruktion som skall skyddsmålas mot korrosion. (Christoffer Holländer, 2024)

4.3.2 Bindemedel och målfärgstyper

Eftersom bindemedlet har en så central roll i målfärg och färgsystem generellt benämns på basen av de ingående målfärgernas bindemedel så är det naturligt att nämna de vanligaste av dem. Epoxi (EP), och polyaspargin (PAS) fungerar som bindemedel i tvåkomponentfärger. Alkyd (AK), akrylat (AY) fungerar som bindemedel i enkomponentfärger. Etylsilikat (ESI), polyuretan (PUR) och polysiloxaner (PS) fungerar som bindemedel i både en- och tvåkomponentfärger. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 6) I detta examensarbete behandlas endast färgtyper menade för korrosionsklasserna C1-C5 och Im1-Im3 som presenteras i standarden SFS-EN ISO 12944–5.

4.3.3 Färgsystemets hållbarhetsklass

Färgsystems hållbarhet delas in i fyra hållbarhetsklasser, enligt hur länge ett färgsystem antas hålla. Dessa är:

- Låg, betecknas L, upp till 7 år
- Medel, betecknas M, mellan 7 och 15 år
- Hög, betecknas H, mellan 15 och 25 år
- Mycket hög, betecknas VH, över 25 år

Hållbarhetsklasserna finns till för att underhållsarbete för konstruktioner skall kunna planeras. Ju högre hållbarhetsklass desto lägre tid mellan underhållsarbete. Hållbarhetsklass och garantitid för färgsystemet är inte samma sak och skall inte blandas ihop. Lokala förhållanden inverkar på hållbarheten, och detta bör tas i beaktande vid planering av underhåll. (SFS-EN ISO 12944-1, 2017, kap. 5) Dessutom påverkar också graden av förbehandling, förhållandena under appliceringen, konstruktionens utformning och appliceringsmetoden på målsystemets hållbarhet. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 7.4) Ytor där målfärgen börjat lossna är väldigt utsatta för korrosion då sådana ytor kan binda fukt och på det sättet försnabba korrosionen (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap 6.5).

4.3.4 Skikttjocklek

Ett målsystems skikttjocklek påverkar hur bra systemet skyddar den belagda ytan mot korrosion. Skikttjockleken beror på korrosionsklass, estetiska krav och målsystemets uppbyggnad. Om skiktet är tunt i relation till påfrestningen på ytan kommer livslängden vara kort. Allt för tjocka skikt kan i vissa fall leda till att allt lösningsmedel inte har möjlighet att avdunsta och detta kan i sin tur leda till att vidhäftningen försämras. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 188) Skikttjockleken för en torkad målad yta benämns DFT och nominell skikttjocklek för ett lager eller hela målsystemet vid härdat tillstånd benämns NDFT. Det minsta antalet lager för ett visst målsystem benämns MNOC. Standarden SFS-EN ISO 12944-5 ger rekommenderade tjocklekar och lagerantal för olika målsystem. Den rekommenderade tjockleken för ett enskild lager eller ett målsystem varierar mellan 60 mikrometer och 600 mikrometer. Vanliga rekommenderade tjocklekar för färgsystem med ett lager är 60–160 mikrometer, med två lager 160-300mikrometer och med tre lager 260–360 mikrometer. Antalet rekommenderade lager varierar mellan ett och tre. Skikttjockleken kan mätas med mätinstrument för att kolla att tjockleken uppnåtts. Mätningen skall utföras enligt standarden ISO 19840. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, kap. 3, 7.3 & bilaga C)

4.4 Förzinkning

Förzinkning är tillsammans med målning en av det vanligaste ytbeläggnings för att skydda stål mot korrosion. Förzinkning utgör ett heltäckande tätt skyddsskikt och ett katodiskt skydd. Zink är en oädel metall och oxideras då den kombineras med en ädlare metall. Vid förzinkning täcks ytan med ett tätt lager av zink. Skulle det uppstå defekter i lagret och stålytan skulle exponeras mot den yttre miljön skyddas den elektrokemiskt av zinken. Trots att zink används som beläggning för att skydda mot korrosion, så korroderar zinkbeläggnings också och lagrets tjocklek blir tunnare med tiden. Zink korroderar dock långsammare än stål. Graden av korrosion beror på omgivningens förhållanden. (Kangaspuoskari & Papula, 2020, s. 276)

Korrosionshastigheten för förzinkade konstruktioner i atmosfäriska miljöer, alltså ovan vattenytan och markytan, påverkas främst av föroreningar i luften och på ytan samt mängden och längden av påfrestning av fukt. I Miljöer där den relativa luftfuktigheten är under 60%, exempelvis inomhus, behövs oftast inte en skyddande zinkbeläggning. Vid andra miljöer som är mer påfrestande kan dock ett korrosionsskydd av zink appliceras. Förzinkade konstruktioner i mark påverkas av jordartens fysikaliska och kemiska egenskaper, till exempel jordartens PH-värde, mängden organiska material samt mängden mineraler. Variationer i jordarternas egenskaper varierar och detta orsakar att delar av konstruktioner korroderar olika mycket. Sandjordar och kalkrika jordarter är allmänt inte så frätande medan lerjordar och torvmarker kan vara mer frätande. Vid gränsen mellan vatten och luft eller mark och luft kan det ske en ökad korrosion och dessa ställen är viktiga att beakta. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017 kap. 7.1 & 7.2)

Förzinkade ytors korrosionspåverkan i vatten beror främst på vattnets kemikaliska struktur men också på syremängden, temperaturen samt trycket. Vid områden där vattnets nivå höjs och sänks frekvent behöver extra åtgärder göras. I många fall lönar det sig att ta kontakt med sakkunniga inom området, då man planerar och arbetar med förzinkade konstruktioner i vatten eftersom det finns så många faktorer som kan påverka påfrestningen av zinkytan. Korrosionshastigheten är i medeltal 10–20 mikrometer per år i havsvatten. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap. 7.3)

Det finns olika typer av förzinkning: varmförzinkning, mekanisk förzinkning, elförzinkning (elektrolytisk förzinkning), sherardisering och termisk sprutförzinkning. Dessutom kan en

ytta målas med zink rik färg. (Nordic Galvanizers, 2019, s. 11-13) De olika metoderna ger olika egenskaper åt ytan. Vilken metod som väljes beror på klimat och lokala förhållanden, förväntad livslängd fram till planerat underhållsarbete, tillgänglighet och pris, om zinkbeläggningen skall ytbehandlas eller ej. Valet beror också på vad produkten skall användas till. Livslängden för beläggningen kan antas vara proportionell mot skiktjockleken men korrosionsklassen bör dock beaktas. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap.5)

För att öka livslängden på en zinkbeläggning kan den beläggas med organiska beläggningar. Tiden till underhåll efter en zinkbeläggning brukar vara minst 20 år. Underhåll kan ske genom att förzinka konstruktionen på nytt eller genom att måla över ytan med färg. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap. 6.5)

Zinkbeläggningar delas in i fem hållbarhetsklasser på basen av skiktet tjocklek och korrosionsklass. Hållbarhetsklasserna kan användas för att planera underhåll eftersom de representerar skiktets ungefärliga livslängd. Klasserna redovisas nedan:

- Mycket kort, betecknas VL, 0... <2 år
- Kort, betecknas L, 2... <5 år
- Medellång, betecknas M, 5... <10 år
- Lång, betecknas H, 10... <20 år
- Mycket lång, betecknas VH, \geq 20 år

Som exempel ges tabell 11. Där presenteras hållfasthetslängden till första underhållet för ett varmförzinkat skikt. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap. 7.1)

Tabell 4.4. Zinklagrets minsta tjocklek beroende på korrosionsklass och hållbarhetsklass.

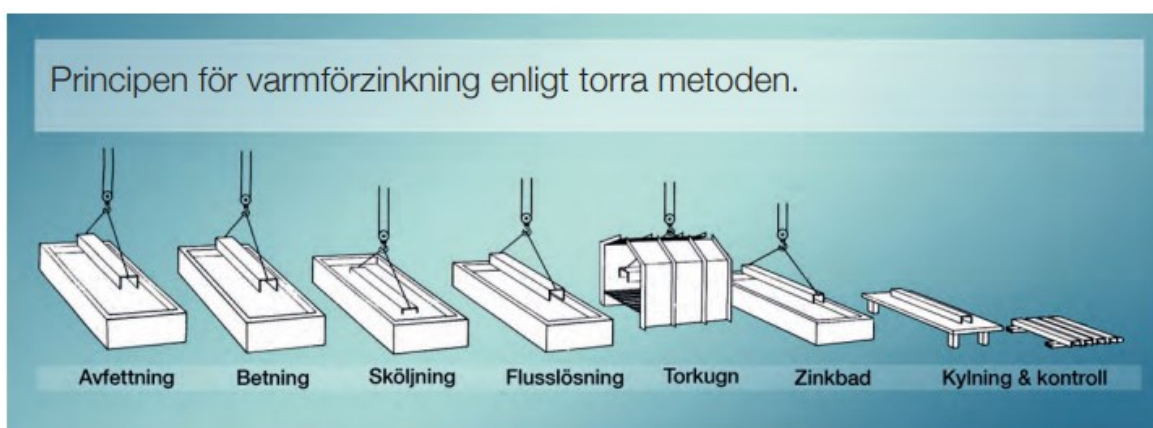
Järjestelmä	Viite- standardi	Vähimmäis- paksuus μm	Valittu syövyttävyyssluokka (ISO 9223) kestoikä min./max. (vuotta) ja kestävyyssluokka (VL, L, M, H, VH)							
			C3		C4		C5		CX	
Kuumasinkitys	ISO 1461	85	40 / > 100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67 / > 100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95 / > 100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H

(SFS-EN ISO 14713-1, 2017, s. 13)

4.4.1 Varmförzinkning

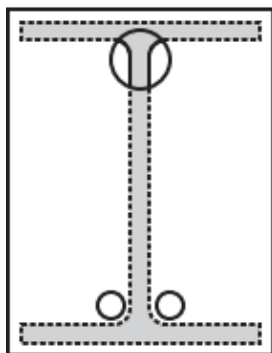
Den effektivaste och vanligaste typen av förzinkning är varmförzinkning (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 528). De finns två olika sätt att varmförzinka produkter, förzinkning genom att doppa produkten i ett zinkbad och förzinkning i kontinuerliga produktionslinjer. Förzinkning i produktionslinjer används för att förzinka plåtar där linjen matas med plåtar som svetsas ihop och åker ner i zinkbadet varefter plåtbandet rullas ihop till en rulle. Vid dopning sänks konstruktionen ner i ett bad innehållande smält zink, och får ett skyddande grått zinklager. Temperaturen i badet ligger vanligen runt 450 grader Celsius. Det skyddande zinklager är hållbart och beständigt mot nötning. Eftersom varmförzinkning handlar om att doppa konstruktionen i ett bad finns det förstås begränsningar på hur stor konstruktionen kan vara. Storleken på zinkbadet varierar från leverantör till leverantör, men det finns möjlighet att förzinka konstruktioner upp till 26 meter. Detta förutsätter dock att man dubbel doppar, det vill säga först doppar ena halva och sedan andra halvan av konstruktionen. Vikten på konstruktionen begränsas till lyftutrustningens kapacitet. (SteelConstruction.info, u.d) Zinkbadens djup och bredd varierar beroende på leverantör.

Varmförzinkningen utförs i olika steg. Det finns två olika sätt att utföra doppad varmförzinkning på: torrförzinkning och våtförzinkning. De två metoderna ger exakt samma resultat men torrförzinkning är effektivare och därför vanligare. Processen för torrförzinkning visualiseras i figur 4.4. (Nordic Galvanizers, 2019, s. 15) Det finns även en tredje metod, förzinkning med centrifugering. Denna metod är lämplig för små delar så som spikar och skruvar samt andra fästdon och tillbehör. Föremålen läggs i en korg som doppas i zinkbadet. Efteråt tas överflödig zink bort hjälp av centrifugalkraften. (Nordic Galvanizers, 2019, s. 16)

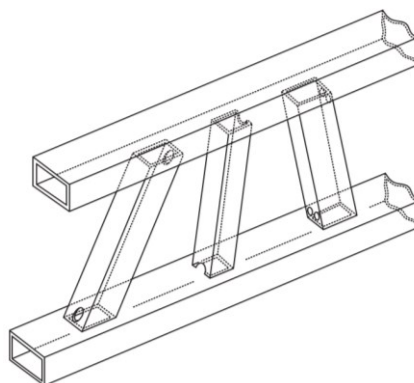


Figur 4.4. Varmförzinkning enligt torr metod. (Nordic Galvanizers, 2019)

Vid planeringen av konstruktioner som ska doppas i ett zinkbad bör vissa saker beaktas. Ihåliga eller slutna konstruktioner bör förses med luftningshål. Detta eftersom det finns sprängningsrisk om en sluten konstruktion läggs ner i badet. Hålen finns också till för att zinken skall komma åt alla ytor på konstruktionen samt för ventilering, och de bör därför vara tillräckligt stora, minst 10 millimeter. Hålen placeras så att zinksmältan och kondens kan rinna ut. Ändplåtar bör förses med hål vid anslutande profiler och förstyrningsplåtar bör förses med snedsågade kanter in mot den anslutande profilen för att zinksmältan skall



Figur 4.5. Placeringar av hål på ändplåtar för konstruktioner som skall varmförzinkas. (SFS-EN ISO 14713-2, 2020, s. 15)

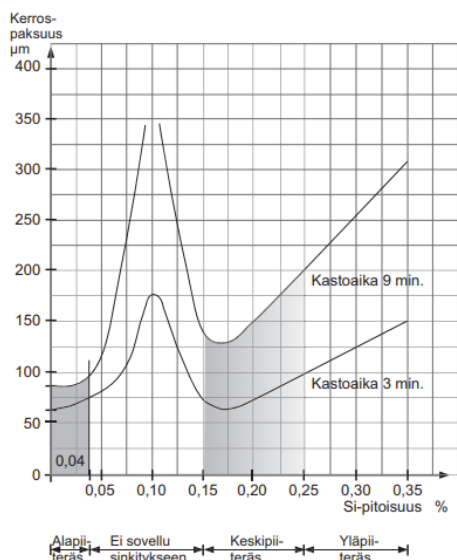


Figur 4.6 Ihopsvetsade rörprofiler bör förses med hål för av zinksmältan skall komma åt alla ytor. (SFS-EN ISO 14713-2, 2020, s. 18)

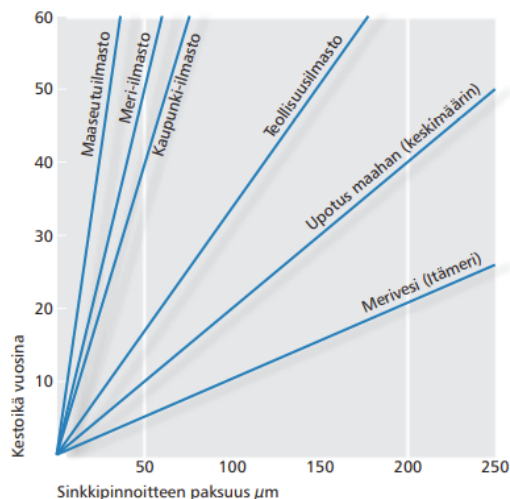
kunna röra sig lättare, se figur 4.5. Hålen kan också göras på profilen ifall det är mer fördelaktigt med tanke på andra aspekter i planeringen. Sådana konstruktioner där det finns risk för att luftfickor bildas bör undvikas, om de inte förses med hål på optimala ställen med tanke på förzinkningen. Tunna springor mellan plåtar och profiler skall undvikas eftersom zinksmältan inte nödvändigtvis når springornas ytor. Ihop svetsade rörprofiler skall förses med hål, se figur 4.6. Man kan med fördel förzinka alla konstruktionsdelar och montera konstruktionen med skruvförband. Detta är en enkel och kostnadseffektiv lösning. (SFS-EN ISO 14713-2, 2020, Bilaga A)

De flesta ståltyper kan varmförzinkas. Rostfritt stål är inte lämpligt för varmförzinkning. De finns två faktorer som påverkar skiktjockleken vidhäftningen och ytans utseende hos zinkbeläggningen. Dessa är dopptiden samt stålets kisel- och fosforinnehåll. Stål kan delas in i tre klasser baserat på innehållet av kisel (Si) och fosfor (P). Dessa är:

- Lågkiselstål. Si +P innehållet är under 0,04%
- Medelkiselstål. Si innehållet är 0,15–0,25%
- Högkiselstål. Si innehållet är 0,25–0,35%



Figur 4.7. Zinkbeläggningens livslängd beroende på lagertjocklek och exponering. (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 30)



Figur 4.8. Uppnådd lagertjocklek beroende av dopptid och stålets kiselhalt. Gäller för varmförzinkning. (Ylitalo, 2015, s. 42)

Lågkiselstål kan användas om beläggningens utseende är viktigt eller om beläggningen skall målas. Ytan blir klar och färgen jämn, dessutom är vidhäftningen bra. För lågkiselstål är zinkytan oftast under 90 mikrometer. Eftersträvas tjockare skikt kan man välja medelkiselstål eller högkiselstål. Med medelkiselstål är det möjligt att uppnå tjocka skikt men vidhäftningen är sämre. Ytan blir inte heller estetiskt lika bra som för lågkiselstål. Högkiselstål möjliggör riktigt tjocka skikt. Ytan blir dock grov och ömtålig, och målas ytan kan det vara svårt att få en bra yta. Kiselhalter mellan 0,04% och 0,15% lämpar sig inte för förzinkning. Figur 4.7 redogör för skiktjocklekar man kan åstadkomma baserat på kiselhalt och dopptid. Livslängden för en zinkbeläggning åskådliggörs i figur 4.8. (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 529-530)

4.4.2 Termisk sprutförzinkning

Vid sprutförzinkning sprutas smält zink på konstruktionen som skall skyddas. Före applicering avfettas och tvättas ytan samt blästras. Blästringens noggrannhet skall uppnå minst klassen Sa 2½. Svetsning skall helst utföras före beläggningen appliceras. Om detta inte är möjligt ska zinksiktet där svetsning sker slipas bort. Efter svetsning förbehandlas området och beläggs sedan med exempelvis zinkrik färg. (SFS-EN ISO 14713-1, 2017, kap. 6.4)

Appliceringen av zink eller zinklegeringen sker med hjälp av en tryckspruta som värmer upp zinken varefter den sprutas mot ytan. Beläggningen blir aningen porig. (Nordic Galvanizers,

2019, s. 11). Porerna påverkar ytan negativt eftersom det fastnar smuts och föroreningar i dem. Den största negativa effekten av porigheten är att zinkskiktets korrosionshastighet är större än för andra förzinkade ytor. För att förbättra skiktets livslängd kan man använda organiska beläggningar som stryks på den besprutade ytan. Då två lager skyddar ytan kan det benämnas för ett dubbelskiktat beläggningssystem. (SFS-EN ISO 2063-1, 2019, kap 6.4 & 6.5)

Sprutförzinkning kan inte användas på alla konstruktioner. Konstruktionens alla ytor bör kunna besprutas. Sprutandet skall ske inom vissa vinkelintervall i förhållande till ytan, samt att det skall ske från ett visst avstånd från ytan. Avståndet från ytan vid sprutning ligger mellan 100 och 300 millimeter. Vassa ytterkanter och små radier på invändiga kanter samt stängda utrymmen med små hål bör undvikas för att uppnå bra resultat. (SFS-EN ISO 2063-1, 2019, Bilaga D)

Rekommenderade tjocklekar för sprutförzinkade beläggningar varierar beroende på korrosionsklass och om man använt organiska beläggningar samt zinklegeringens struktur. Rekommenderade skiktjocklekar varierar mellan 50 och 250 mikrometer. (SFS-EN ISO 2063-1, 2019, Bilaga C) För att få ett korrosionsskydd som har samma livslängd som varmförzinkade skikt ska ett besprutat skikt vara cirka 20% tjockare (Nordic Galvanizers, 2019, s. 11).

4.4.3 Målning på förzinkade ytor

System där man målar en förzinkad yta för att göra korrosionsskyddet starkare kallas duplexsystem. Duplexsystemet är det mest kostnadseffektiva sättet att skydda en yta mot korrosion. Systemet kan användas om påfrestningen är mycket stor eller om zinkbeläggningen är tunn. Om duplexsystem används skall man helst välja lågkiselstål och varmförzinkaren bör få information om att duplex behandling skall ske eftersom behandlingen ställer stora krav på den förzinkade ytan. En förzinkad yta som skall målas behöver förbehandlas med blästring. Svepblästring används eftersom denna metod ger god vidhäftning. Metoden avlägsnar föroreningar och rost. Förbehandlingen måste göras noggrant eftersom en dålig sådan kan göra att färgen flagnar medan en för hård blästring kan förstöra zinkytan. Om inte blästring kan användas kan ytan rengöras genom avfettning, sköljning med vatten och fosfatering. (Nordic Galvanizers, 2019, s. 43-45)

Färgsystem som lämpar sig på förzinkade ytor har ett kombinationsnummer som börjar på G (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, Bilaga D). Tillverkare av målfärger har ofta färdiga färgsystem som är framtagna att lämpa sig för målning på förzinkade ytor. Målfärger som tillsammans bildar en färgkombination skall alltid vara från samma tillverkare. Livslängden för ett duplexsystem kan bli över dubbelt längre än det enskilda zinklagrets livslängd och det enskilda målfärgslagret tillsammans. Livslängden kan beräknas genom att addera det enskilda zinkskiktets antagna livslängd med det enskilda målfärgsskitets livslängd och multiplicera summan med en synergifaktor. Synergifaktorn varierar beroende på förhållandena för konstruktionen. För konstruktioner i korrosionsklass C5 eller nedsänkt i vatten är synergifaktorn 1,5, för korrosionsklass C3 och C4 där våttiden är under 60% är synergifaktorn 1,6–2,0 och för korrosionsklass C2 är faktorn 2,1–2,3. (Nordic Galvanizers, 2019, s. 43)

4.5 Brandskyddsytbehandling

Brandskyddsytbehandlingar kallas passiva brandskydd. Dessa kan vidare delas in i reaktiva och icke-reaktiva brandskydd. Icke reaktiva brandskydd är någon form av massa som sprutas på stålet medan reaktiva brandskydd är svällande målfärger. (SteelConstruction.info, u.d) För att uppnå ett bra resultat vid applicering av brandskydd bör konstruktionen utformas så att brandskyddet kan appliceras på korrekt sätt. Saker som beaktas vid applicering av vanlig målfärg skall även beaktas här. Ju större godstjocklekar som används desto bättre motstår själva konstruktionen de höga temperaturerna vid brand. Detta eftersom det finns mer massa som behöver kylas ned innan stålet blir för varmt och kollapsar. Vid planering skall de ingående delarnas kritiska temperaturer och tvärsnittsfaktorer beaktas. Det är dessa tillsammans med brandklassen på konstruktionen som påverkar skyddets tjocklek. (Malaska, 2020, s. 249-251)

4.5.1 Brandskyddsmålning

Brandskyddsmålning görs med svällande brandskyddsfärger. Färgen sväller upp på grund av en kemisk reaktion som orsakas av hög värme. Vid 200–250 grader Celsius sväller färgen 40–60 gånger dess ursprungliga tjocklek, som kan variera mellan 0,2–3 millimeter (SteelConstruction.info, u.d) (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 375). Färgen kan svälla till och med upp till 100 gånger dess ursprungliga tjocklek. Vid svällandet bildas det en förkolning

som gör värmeöverföringen från branden till stålet långsammare. Den uppsvällda färgen bör ha sådana egenskaper att den hålls intakt även om stålet utvidgas eller rör sig. (Persson, 2022b) Tjockleken på ett färgskikt kan väljas på basen av den valda tillverkarens dimensioneringstabeller.

Färgsystemen för brandskyddsfärg byggs vanligtvis upp som på samma vis som vanliga färgsystem. Tre olika lager används: grundfärg eller primer, mellanfärg (själva brandskyddet) och täckfärg. Det finns olika typer av svällande brandskyddsfärg. Vattenbaserad brandskyddsfärg är billig men inte så beständig mot fukt vilket gör att långa torkningstider behövs om appliceringen utförs i fuktig miljö. Epoxibaserad färg tål krävande miljöer och används inom industrimiljöer. Epoxifärger är tvåkomponentsfärg som ger en tjock yta av färg och skyddar bra mot korrosion. Lösningemedelsbaserad brandfärg tål väder och fuktiga förhållanden bättre än vattenbaserad färg. Svällande hybridfärg är en relativ ny uppfinning. Hybridfärgen tål krävande miljöer i korrosionsklass C5 och kan appliceras i ett enda lager. Appliceringen är alltså tidseffektiv och på grund av att den är snabbhärdande är den väderbeständig på under en timme. Med färgen kan man uppnå över 5 millimeter tjocka skikt på en målning och den har en brandmotståndstid på upp till 120 minuter. (Persson, 2022)

Brandskyddsmålning kan utföras i verkstad och på byggplatsen. Om applicering utförs i verkstad bör transport och montering av föremålen utföras omsorgsfullt. Skador i målningen bör undvikas. Korrigering av skador kan ske genom lokal målning eller att hela konstruktionen målas på nytt. (Ongelin & Valkonen, 2016, s. 375)

4.5.2 Brandskydd applicerat genom sprutning

Brandskydd som appliceras genom sprutning är en massa som är baserad på gips- eller cementblandningar. Före applicering blandas massa med vatten så den blir applicerbar. Tjockleken på skyddet kan variera mellan 10 och 70 millimeter. Tjockleken beror på profilens kritiska temperatur samt vilken brandklass som skall uppnås. (Lundin & Uppfeldt, 2008, s. 165) Som metoder för sprutning kan nämnas mineralfibersprutning och vermikulitsprutning (Malaska, 2020, s. 250). Den besprutade ytan blir väldigt ojämn och finns det estetiska krav är denna metod inte att rekommendera. Olika sprutningsbara brandskydd har olika egenskaper och valet måste göras skilt för varje projekt. Vissa skapar

en mer hållbar och hård ytan medan andra förblir mjukare. Vissa tål mer fukt än andra sorter. Även densiteten varierar mycket mellan olika sprutningsbara brandskydd. (Wahl, 2022)

5 TRAVERSKRANBANOR

En traverskran är en form av lyftdon som består av en traversbrygga som vilar på kranbanebalkar som fungerar som traverskranens bana. Traverskranar finns i fyra utföranden: traverskranar som löper ovanpå kranbanan, traverskranar som löper under kranbanan, enbalks konsoltraverskranar samt halvportalkranar. Den förstnämnda är vanligast i sådana fall där kravet på lyftkapacitet är stor och kan utrustas med en eller två traversbryggor. (Abus kransystem, 2024)

Traverskranen löper som sagt på en traverskranbana, överliggande traverskranar löper på en räl som antingen svetsas fast eller fäst i banan med klamrar. Mer om detta i kapitel 5.1 (Husson, 2016, s. 4). Trallan eller själva lyftdonet kan fästas antingen ovan eller under traversbryggan. Monteras den under så får man mer fri höjd då bryggan kan monteras väldigt nära taket, om bryggan inte utrustas med en gångbro. Standarden ISO 11660–5 ger anvisningar för frigångsmått runt traverskranen som bör beaktas vid planerandet, för att förhindra olyckor (Husson, 2016, s. 3).

Traverskranar är ett mycket användbart lyftdon i många hänseenden. Lyftkapaciteten för en traverskran varierar mellan några hundra kilogram upp till flera hundra ton och användningsområdena är många. Traverskranar med stora lyftkapaciteter används inom olika industrier. Den stora lyftkapaciteten ställer dock stora krav på kranbanebalkarna samt den bärande stommen.

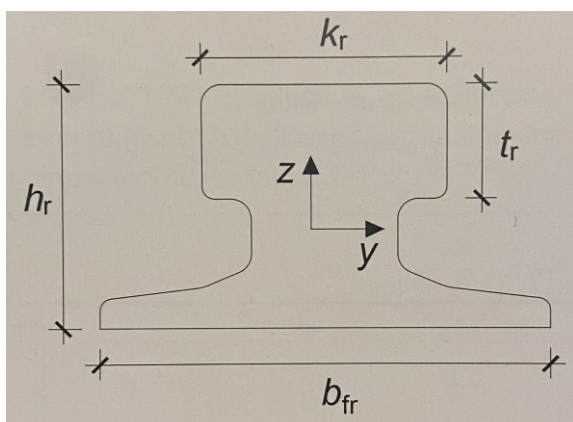
5.1 Rältyper

Det finns två vanliga typer av räler, platträl och kranräl, se figurerna 5.1 och 5.2. Valet av vilken typ samt storleken på rälen bestäms tillsammans med kranleverantören. saker som behöver tas i beaktande är material, hjullast, hjuldiameter, hjulmaterial och kranutnyttjande. I vissa fall är endast en av de två typerna möjlig (Husson, 2016, s. 4). Vid valet bör man även beakta kranbanans planerade livslängd och hur intensivt kranen kommer användas eftersom detta påverkar hur mycket rälerna slits. Om fallet är att rälen

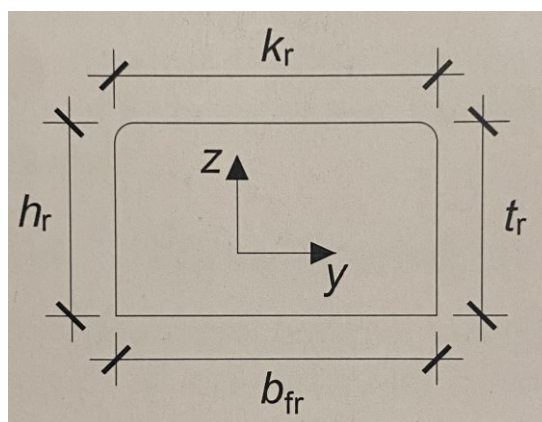
slits snabbare än kranbanans tilltänkta livslängd bör rälen och tillhörande komponenter vara utbytbara. Slitage på rälen kan minskas genom att minska på kontaktrycket mellan räl och kranhjul. (SS-EN 1993-6, 2007) Kranräl bör vara tillverkade av rälstål med en brottgräns på minst 500–1200 MPa. (SS-EN 1993-6, 2007, kap. 3.6.2, 4 & 8.4.3) Normal kvalitet är 690MPa (Husson, 2016, s. 4)

Kranrälen fästs i kranbanan genom klamrar som antingen svetsas eller bultas fast i balken på vardera sida om rälen. En fördel med kranräl är att man ofta monterar den på byggplatsen vilket möjliggör att små avvikelser på grund av tillverkning och montering av stomme och kranbana, kan korrigeras. För att minska ljudet och slitaget från användningen av kranen kan mellanlägg mellan kranrälen och balken användas. Mellanlägget kan vara av exempelvis gummi. (Husson, 2016, s. 61-62). Om fasta klamrar används kan man inte använda mellanlägg. Fasta klamrar är sådana som svetsats fast eller fästs med skruv- eller nitförband genom rälen (SS-EN 1993-6, 2007, kap. 8.5.2).

Platträlen fästs i kranbanan genom svetsning. Svetsarna utförs som kälsvetsar, antingen intermittenta eller kontinuerliga. Utomhus krävs kontinuerliga svetsar på grund av risk för spaltkorrosion. För intermittenta svetsar är ett vanligt utförande 100mm svets med c/c avståndet 300mm och a-måttet 5mm. (Husson, 2016, s. 60) Rälen kan om den fästs till kranbanan genom svetsning räknas som en del av kranbanans tvärsnitt vid dimensionering. Vid dimensionering bör rälen nominella tjocklek under slitytan reduceras med 25% på grund av slitage, om man inte bestämmer annat för projektet specifikt. (SS-EN 1993-6, 2007, kap. 5.6.2 & 8.5.2)



Figur 5.1. Tvärsnitt för en kranräl. (Husson, 2016, s. 4)



Figur 5.2. Tvärsnitt för en platträl. (Husson, 2016, s. 4)

5.2 Klassificering av traverskranar

Traverskranar delas in i klasser enligt lyftklass och driftklass. Det finns fyra lyftklasser, HC1-HC4. Lyftklasserna baserar sig på den dynamiska inverkan som en överföring av last från mark till kran orsakar. HC1 ger minsta inverkan och HC4 ger störst inverkan. Driftklasserna baserar sig på kranens användning under dess förväntade livstid. Driftklassen bestäms av antalet lastcykler U_i och variationer lasternas storlek Q_i under kranens livslängd. Vid kombination av lastcyklerna och variationen i lasternas storlek så får man fram en parameter S som är måttet på spänningskollektivet mellan dessa. Det finns tio driftklasser $S_0 - S_9$ där kranar i klass S_9 utsätts för flest lyft och variationen i lasterna storlek är mest ogynnsam. (Husson, 2016, s. 2) Tillverkare kan ge kranens driftklass i formen U_i/Q_i . För att konvertera detta till S_i kan tabell 2.11 i EN 1991-3 användas, den baseras på en livslängd på 25 år. Lyft och driftklass kan även bestämmas ur bilaga B i EN 1991-3, då baseras valet på kranens användningsändamål. (SS-EN 1991-3, 2006, kap. 2.12.1)

5.3 Dimensionering av traverskranbana

Vid dimensionering av en traverskranbana bör man kunna anta ett tvärsnitt för beräkning. Valet av balktyp baseras på kranens lyftkapacitet och spännvidd. HEA-balkar är vanliga vid små och medelstora kranar medan svetsade balkar används vid större belastningar. Balkarna kan göras kontinuerliga eller som fritt upplagda. För lägre driftklasser S1-S3 kan balken göras kontinuerlig över två eller tre spann för att kunna använda lagerförda längder. För högre driftklasser bör balken göras kontinuerlig i hela kranbanans längd. Vid de lägre driftklasserna uppstår alltså fogar på de stöd där balkarna skarvas. Rälerna bör vid dessa ställen också kapas för att undvika att eventuella belastningar skall tas upp av endast rälerna. För kranbanebalkar används ofta stålsorten S355. Kranbanor ges oftast korrosionsklassen C2 om kranbanan befinner sig inomhus och C3 om den befinner sig utomhus. Viktigt att beakta spaltkorrosionen som kan uppstå om intermittenta svetsar används på kranbanor som befinner sig utomhus. (Husson, 2016, s. 3, 5, 8, 55, 60-61) I Finland skall den planerade livslängden för kranbanan bestämmas skilt för varje projekt (NA(fi)-1993-6, 2019, s. 2). Rekommenderad livslängd för kranbanor är 25 år, enligt standarden SS-EN 1993-6.

5.3.1 Snittkrafter

Moment och tvärkraft skall bestämmas för största vertikala och horisontala lasterna på de mest ogynnsamma platserna på kranbanebalken. Snittkrafter för ett snitt på balken kan tas fram med så kallade influenslinjer eller med hjälp av dataprogram. I synnerhet vid större kranar eller då man har flera kranar på samma kranbana lönar det sig använda dataprogram för bestämning av snittkrafter.

Snitt som kan behöva kollas för kontinuerliga kranbalkar är följande:

1. Fältsnitt i ytterfack (för fältmoment och vippning av övre fläns)
2. Obelastat fältsnitt i ytterfack (för fältmoment och vippning av undre fläns)
3. Snitt vid stöd mellan ytter och innerfack (för stödmoment)
4. Fältsnitt i obelastat innerfack (för fältmoment och vippning)
5. Fältsnitt i innerfack (för fältmoment och vippning)
6. Snitt vid stöd mellan två innerfack (för stödmoment)

Snitt 1 och 3 kollas för valsade balkar, medan de fyra första snitten kollas för svetsade balkar. Alla snitt kollas för situationer där spännvidden i inre fack är större än i de yttersta facken samt om man valt att minska balkens dimensioner i de inre spannen. Vid andra tvärsnitt kontrolleras också fältsnitt i innerfack och snitt vid innerstöd. Vid två eller fler kranar kan även andra snitt behöva kollas. Vid utmattning är det osannolikt att höga spänningar från vertikala och horisontala laster skall uppträda samtidigt så sidolasterna kan försummas. För utmattning kollas snitt i ytterfack samt vid första innerstödet för konstanta tvärsnitt. (Husson, 2016, s. 19-24)

5.3.2 Beräkningar i brottgränstillstånd

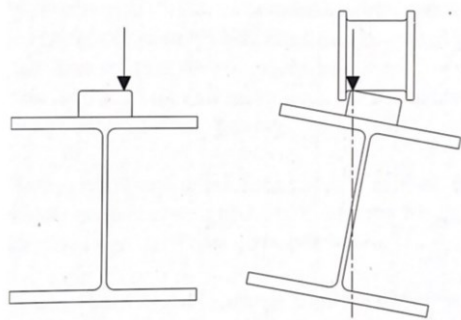
I brottgränstillstånd skall kontroll mot tvärkraft, moment, vippning och skjuvbuckling göras. Beräkningsgången för tvärkraft, moment och skjuvbuckling görs enligt EN 1993-1-1. Moment från horisontella krafter som verkar tvärs kranbanans riktning tas upp av endast balkens övre fläns. På grund av moment från krafter i två riktningar bör en kontroll av tvåaxlig momentbärförmåga göras. För detta kan följande villkor användas (villkor för fleraxlig momentbärförmåga):

$$\frac{M_{y.Ed}}{M_{el.y.Rd}} + \frac{M_{z.Ed}}{M_{uf.el.z.Rd}} \leq 1$$

(SBI Traverskranbana s. 74)

Både vertikala och horisontella laster angriper balken excentriskt och ett vridmoment runt skjuvcentrum skapas. Detta gör att kranbanebalkars vippningsbenägenhet ökar. Vippning blir oftast dimensionerande för kranbanebalkar. Vippning skall kontrolleras enligt följande villkor:

$$\frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y.Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{C_{mz} * M_{z.Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{z.Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_w * k_{zw} * k_a * B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{SS-EN-1993-6 (A.1)})$$



Figur 5.3. Kranbanebalkens vridning gör att den vertikala kraften kan antas verka i tvärsnittet skjuvcentrum. (Husson, 2016, s. 27)

Den horisontala kraften kan antas tas upp av endast övre flänsen, vilket gör att vridmoment från denna last kan försummas. För balkar med I-tvärsnitt och där inget mellanlägg används mellan räl och balk kan den vertikala lasten, efter att balkens vridits en aning, antas verka i skjuvcentrum enligt figur 5.3. På detta sätt behöver inget vridmoment från lasterna beaktas och den sista additionen i formel SS-EN-1993-6 (A.1) kan försummas. (Husson, 2016, s. 25-27) C_{mz} är en faktor för ekvivalent konstanta moment, och tas från SS-EN-1993-1-1 tabell A3. χ_{LT} är en reduktionsfaktor för vippning och beräknas enligt SS-EN-1993-1-1 kapitel 6.3.2. (SS-EN 1993-6, 2007, bilaga A)

Kranbanebalkens övre fläns och liv bör kontrolleras mot koncentrerad hjullast. I brottgränstillstånd skall vertikal tryckspänning och skjuvspänning samt livets buckling kontrolleras. Den vertikala tryckspänningen kan beräknas med följande formel:

$$\sigma_{oz.Ed} = \frac{F_{z.Ed}}{l_{eff} * t_w} \quad (\text{SS-EN-1993-6 (5.1)})$$

där, $F_{z.Ed}$ är det dimensionerade hjultrycket

l_{eff} är effektiv belastningslängd

t_w är livets tjocklek

För räler som är fast förbundna med balken kan den effektiva belastningslängden i underkanten av övre flänsen beräknas enligt:

$$l_{eff} = 3.25 * \left(\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 5.1})$$

där, I_r är tröghetsmomentet för rälen, kring dess horisontella axel

$I_{f,eff}$ är tröghetsmomentet för övre flänsen kring dess horisontella axel. Övre flänsens effektiva bredd skall användas vid beräkningen av tröghetsmomentet. Den effektiva bredden beräknas med formeln nedan. Indexet r gäller för räl. Den effektiva bredden kan inte vara större än övre flänsens bredd.

$$b_{f,eff} = b_{fr} + h_r + t_f \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 5.1})$$

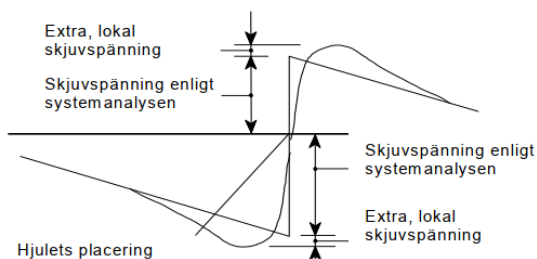
Vid beräkning av den effektiva belastningsbredden i någon annan del av tvärsnittet kan lasten antas fördelas i 45 graders vinkel. För att exempelvis få den effektiva belastningsbredden vid livet där radien börjar adderas den effektiva belastningslängden vid flänsens undre kant med två gånger radien (SS-EN 1993-6, 2007, kap. 5.7). Man bör beakta rälens slitage vid beräkningen. Rälens slitage kan antas vara 25% av rälens höjd. (Husson, 2016, s. 31)

Den vertikala globala skjuvspänningen i livet kan beräknas med följande formel:

$$\tau_{xz} = \frac{V_z \cdot E_d}{A_w} \quad (\text{SBI Traverskranbana, sid. 77})$$

Det uppstår även lokala skjuvspänningar på vardera sida av kranhjulet, se figur 5.4. Dessa lokala skjuvspänningar skall tas i beaktande och adderas till den globala skjuvspänningen. Den lokala skjuvspänningen kan tas som 20% av den vertikala tryckspänningen enligt följande formel: (Husson, 2016, s. 32)

$$\tau_{oxz.Ed} = 0,2 * \sigma_{oz.Ed} \quad (\text{SBI Traverskranbana (3.21)})$$



Figur 5.4. Visualisering av de extra skjuvspänningar som uppstår på vardera sida om hjulet. (SS-EN 1993-6, 2007, s. 32)

5.3.3 Beräkningar i bruksgränstillstånd

I bruksgränstillstånd bör kranbanebalkar kontrolleras mot deformationer vertikalt och horisontellt. Samt kontroll av plåtslankhet för att undvika bucklor och livandning samt kontroll av upprepbart beteende.

Andning i livet beror på livets slankhet. Andning är återkommande synliga bucklor i livet. För att inte riskera utmattning bör andning begränsas (Husson, 2016, s. 34). Slankheten bör begränsas för att inte uppnå för stor livandning. För liv utan tvärvaststyrningar behöver andning inte beaktas om följande villkor uppfylls:

$$\frac{b}{t_w} < 120 \quad (\text{SS-EN-1993-6 kap. 7.4})$$

Vid andra fall kan utredning om livandning behöver beaktas göras enligt kapitel 7.4 i SS-EN-1993-6. (SS-EN 1993-6, 2007, kap 7.4):

Fritt upplagda kranbanebalkars underflänsar måste kontrolleras mot underflänssvängningar som orsakas av kranens rörelser. Risker för underflänssvängningar får försummas om följande villkor uppfylls (SS-EN 1993-6, 2007, kap 7.6):

$$\frac{L}{i_z} < 250 \quad (\text{SS-EN-1993-6 kap 7.6})$$

där, i_z är underflänsens tröghetsradie och L är avståndet mellan sidostagningar.

För kranbanebalkens utböjning i horisontellt finns det två gränsvärden som bör uppfyllas. Laster på grund av skevgång blir oftast dimensionerande vid kontroll av horisontell utböjning (Husson, 2016, s. 34). För horisontell utböjning vid kranrälens övre kant gäller följande (L är spännvidden mellan stöden):

$$\delta_y \leq \frac{L}{600} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.1})$$

Spännvidden mellan kranbanebalkarnas rälers centrum får som mest förändras enligt följande:

$$\Delta s \leq 10\text{mm} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.1})$$

Spännviddsförändringen kan ske på grund av skevgång där skevgångskrafterna verkar åt olika håll på de två kranbanebalkarna. Gränsvärdet kan överskridas om spelrummet mellan

hjulfläns eller styrdon och räl är tillräckligt stort för att klara av större deformationer. Överskridning av gränsvärdet bestäms i sådana fall skilt för varje projekt tillsammans med kranleverantör och beställare.

För nedböjning gäller följande gränsvärden:

$$\delta_z \leq \frac{L}{600} \quad \text{och} \quad \delta_z \leq 25\text{mm} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.2})$$

Skillnaden i nedböjning mellan två kranbanebalkar som hör till samma kranbana skall uppfylla följande gränsvärden (s är traversens spännvidd) (SS-EN 1993-6, 2007, kap 7.3):

$$\Delta h_c \leq \frac{s}{600} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.2})$$

För konsoler som bär upp kranbanebalkarna är gränsvärden för nedböjning L/300 (Husson, 2016, s. 34).

5.3.4 Utmattning

Dimensionering mot utmattning skall göras för alla kranbanebalkar som är utrustade med en traverskran med driftklassen S1 eller högre. Utmattning är då en bärverksdel utsätts för så många spänningsvariationer att materialets hållfasthetsegenskaper försämras. Spänningsvariationer behöver i de flesta fall endast kollas för vertikala laster. Horisontala laster kan försummas eftersom de är mer slumpmässiga. Variation från lägsta till största spänning i en bärverksdel får inte vara för stor. (Husson, 2016, s. 35) Variationen, också kallad spänningsvidden, bör för frekventa laster inte överstigas enligt följande:

$$\Delta\sigma \leq 1,5 * f_y \quad \text{och} \quad \Delta\tau \leq \frac{1,5 * f_y}{\sqrt{3}} \quad (\text{SS-EN-1993-1-9 (8.1)})$$

Utmattningslast beräknas enligt:

$$Q_c = \varphi_{fat} * \lambda_i * Q_{max} \quad (\text{SS-EN-1991-3 (2.16)})$$

Den dynamiska faktorn för utmattning φ_{fat} behandlas i kapitel 3.3. λ_i är en skadeekvivalensfaktor vars storlek beror på kranens driftklass, faktorn tas från tabell 5.1. Skadeekvivalensfaktorerna beaktar antalet lastcykler som en kranbana kommer utsättas för och lasterna av kranen. För globala spänningar som böjmoment och tvärkraft antas kranen orsaka en enda spänningscykel då den rör sig medan för lokala normalspänningar orsakade av exempelvis hjultryck orsakar lika många spänningscykler som antalet kranhjul på kranbanan. De ökade antalet spänningscykler beaktas genom att höja skadeekvivalensfaktorn för de lokala spänningarna. Höjningen sker med ett steg för varje hjulpar. För lokala skjuvspänningar antas att skjuvspänningsvidden är lika stor som hjultrycket och varje hjul orsakar en spänningscykel. Höjningen av skadeekvivalensfaktor sker på samma sätt som för normalspänningar. (Husson, 2016, s. 37)

Tabell 5.1. Skadeekvivalensfaktorer för normalspänning och skjuvspänning.

Klass S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
normal-spänning	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
skjuv-spänning	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

ANM. 1 Vid bestämning av λ -värden har följande använts: standardiserat kollektiv med normalfördelad lasteffekt, Palmgren-Miners delskadehypotes och S-N-kurvorna för utmattningshållfasthet med lutningen $m = 3$ för normalspänning och $m = 5$ för skjuvspänning.

ANM. 2 Om kranens klassificering inte angivits ges viss ledning i bilaga B.

(SS-EN 1993-6, 2007, s. 31)

Villkoren för normalspänningsvidden och skjuvspänningsvidden är följande:

$$\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1 \quad \text{och} \quad \frac{\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1 \quad (\text{SS-EN-1993-1-9 (8.2)})$$

där, γ_{Ff} är en partialkoefficient för ekvivalenta spänningsvidder

γ_{Mf} är en partialkoefficient för utmattningshållfasthet

$\Delta\sigma_{E,2}$ och $\Delta\tau_{E,2}$ är ekvivalent spänningsvidd med konstant amplitud vid 2 miljoner cykler

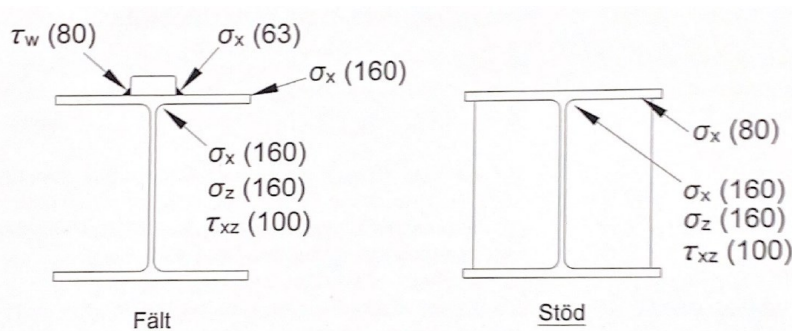
$\Delta\sigma_c$ och $\Delta\tau_c$ är referensvärden för utmattningshållfastheten på stålet vid 2 miljoner cykler, dessa referensvärden kallas förbandsklasser

$\Delta\sigma_{E,2}$ och $\Delta\tau_{E,2}$ ges som skillnaden mellan största och minsta spänningen i bärverksdelen då denna belastas med utmattninglast. (SS-EN 1993-1-9, 2005, kap 8) Om en last ger olika sorters spänningar i en bärverksdel så att spänningarna verkar samtidigt bör en kontroll av den totala utnyttjandegraden kollas enligt följande villkor:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{x.E.2}}{\gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{z.E.2}}{\gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{.E.2}}{\gamma_{Mf}}\right)^5 \leq 1 \quad (\text{SBI Traverskranbana 3.43})$$

Hållfastheten mot utmattning är olika för olika bärverksdelar och komponenter, vissa tål fler lastcykler än andra. Variationer i hållfasthet mot utmattning kan även finnas i en enskild bärverksdel. Detta resulterar i att kontroll mot utmattning måste göras i olika punkter av ett tvärsnitt eller en bärverksdel. Vilka punkter som kontrolleras beror på vad bärverket innehåller för delar och hur bärverket ser ut. För en valsad kranbanebalk med platträl utförs kontroller i punkterna på figur 24. Alltså vid svets mellan räl och balk i fält, balkliv vid övergång till kälradie, över- och underfläns vid stöd samt övre fläns i fält. (Husson, 2016, s. 35) I figuren syns även vilka förbandsklasser som valts för respektive punkt.

Förband och bärverksdelar med liknande utmattningsegenskaper delas in i förbandsklasser. I En 1993-1-9 i tabellerna 8.1 till 8.10 ges 14 olika förbandsklasser och anvisningar på vilka förband eller bärverksdelar som skall tilldelas en viss förbandsklass (SS-EN 1993-1-9, 2005, kap 8). Varje förbandsklass har ett värde som anger hur stor hållfasthet ett förband eller bärverksdel har efter att den utsatts för 2 miljoner lastcykler. De 14 förbandsklasserna representerar hållfasthetsvärden mellan 36 MPa och 160 MPa. Delar som inte tål spänningsvariationer tilldelas en förbandsklass med låg hållfasthet och sådana delar är mindre tåliga mot utmattning. (Husson, 2016 s. 39-42)



Figur 5.5. Punkter som bör kontrolleras mot utmattning för en valsad balk samt deras förbandsklasser. (Husson, 2016, s. 36)

Kontroll av svetsars utmattningshållfasthet görs mot normalspänningar vinkelrätt mot svetsens längdaxel och skjuvspänningar parallellt med längdaxeln. Dessa spänningar beräknas enligt:

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2} \quad \text{och} \quad \tau_{wf} = \tau_{\parallel f} \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 5(3)})$$

Lokala spänningar från hjultryck skall för källsvetsar och stumsvetsar beräknas genom att försumma kontakt med delarna som svetsen håller ihop. (NA(fi)-1993-6, 2019, 9.3.3) Detta fall kan orsaka stora svetsar och blir ofta dimensionerande (Husson, 2016, s. 37).

5.4 Utformning

Hallar där traverskranar monteras kan utformas som antingen en hall med svaj eller utan svaj eller en kombination av båda. Vid valet av hallens strukturella uppbyggnad bör man beakta de krav som beställare har vad gäller traverskranen och dess tilltänkta uppgift samt de deformationskrav som finns för konstruktioner med traverskranar. (Husson, 2016, s. 45)

Det finns deformationskrav på pelare som bär traverskranbanor. Pelarna bör ha tillräcklig styvhet eftersom för stora förskjutningar kan orsaka driftproblem hos traverskranen. Pelarens horisontella förskjutning på grund av kranlaster bör uppfylla följande villkor (h är höjden upp till rälets övre kant):

$$\delta_y \leq \frac{h_c}{400} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.1})$$

Skillnaden i horisontell förskjutning mellan två intill varandra stående pelare som bär upp samma kranbanebalk bör uppfylla följande villkor (L är avståndet mellan pelarna): (NA(fi)-1993-6, 2019, kap. 7.3)

$$\Delta\delta_y \leq \frac{L}{600} \quad (\text{SS-EN-1993-6 tab. 7.1})$$

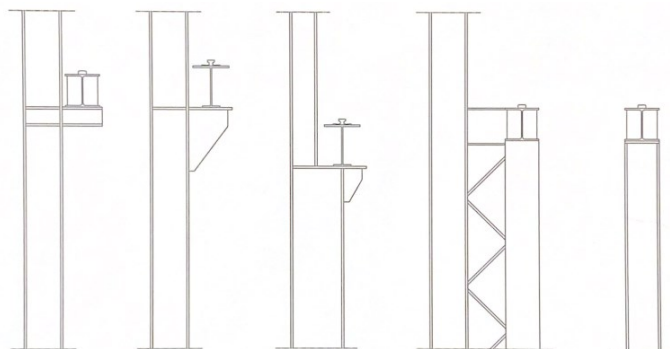
5.4.1 Travershylla

Anslutningen mellan rampelarna och traverskranbanan kan utformas på olika sätt beroende på hur stor last traverskranen orsakar. I figur 5.6 kan man se olika utformningar. Valet av anslutning baseras främst på lasten från traverskranen. Travershyllans uppgift är att föra över krafter från kranbanebalken till rampelarna. En konsolhylla som är gjord av en valsad profil som svetsas fast i rampelaren är vanlig för mindre traverskranar. Detta är en enkel och förmånlig lösning. En svetsad konsolhylla består av plåtar som svetsas till rampelaren. Denna typ av travershylla används för större traverskranar och bärförmågan kan optimeras genom val av plåttjocklek. En hylla där rampelarens tvärsnitt byts är vanlig för fast inspända ramar. Denna typ behöver ofta kompletteras med en lite konsolhylla för

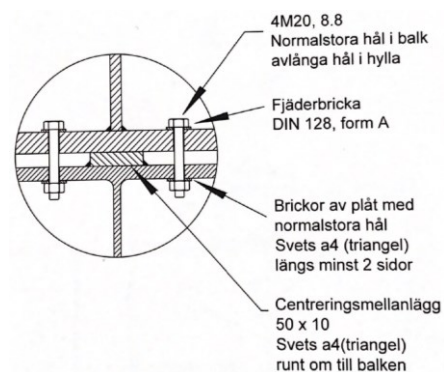
att hela kranbanebalken skall rymmas. Kranbanan kan också stå på en egen pelare som antingen är ansluten till rampelaren eller pelare som står helt fritt. Kranbanebalkarna fästs normalt med klamrar som bultas till konsolhyllan. Klamrar används för att även lyftkrafter skall kunna tas upp. (Husson, 2016, s. 48-54)

5.4.2 Detaljer vid stöd och balkskarv

Kranbanebalkar kan skarvas vid stöd eller i fält. Vid skarvning i fält placeras skarven där momentet är noll eller cirka 1/10 från upplaget. För denna typ av skarvar används stumsvetsar och svetsningen utförs på byggarbetsplatsen. Balken kan skarvas på stöd genom ändplåtar och bultförband. Skarven kan göras som kontinuerlig eller som ledad. Vid kontinuerlig skarv bör förbandet dimensioneras mot stödmomentet. Om en ledad skarv används bör vinkeländringen i balken beaktas. För skarvar som görs på upplag kan



Figur 5.6. Olika utformande av travershyllor. (Husson, 2016, s. 46)



Figur 5.7. Exempelutformning av anslutning mellan travershylla och balk. (Husson, 2016, s. 56)

ändplåtarna görs 10 millimeter för långa neråt så att kraften mellan balken och hyllan överförs endast via ändplåtarna. Detta minskar skador som vinkeländringarna i kranbanebalken kan orsaka.

För att undvika skador på grund av vinkeländringar vid upplag där ingen balkskarv finns kan man på travershyllan lägga in centreringsskivor. Kranbanebalken läggs då på centreringsskivan och fästs i hyllan med fyra bultar enligt figur 5.7. Dessa bultar tar emot lyftkrafter men tillåter vinkeländringar i balken genom att använda fjäderbrickor. (Husson, 2016, s. 55-56)

Kranbanebalkar bör förses med ändstopp i dess båda ändor så att traverskranen inte kan åka bort från sin bana. Ändstoppet kan utformas med en vertikal valsad profil som fäst i kranbanebalken med bultar genom en fotplåt. Kranbanebalkens liv bör förstärkas med två

livplåtar som placeras rakt under profilens flänsar. I den vertikala profilen fästs en bit gummi eller liknande (energiabsorberande material) som överför buffertkraften från kranen. (Husson, 2016, s. 63)

Kranbanebalkar utrustas vanligtvis med livavstyvningar vid upplagen även om balken skulle klara sig utan livavstyvningar. Detta på grund av att om livavstyvningar inte används bör balken i stället utrustas med sidostagning, vilket är en mer komplicerad lösning. För valsade balkar fasas livförstyvningen helst inte i hörnen för att få en kontinuerlig svets hela vägen runt. (Husson, 2016, s. 57)

Så länge avstyvningsplåtar används vid upplag behövs normalt inte sidostagning för HEA-balkar upp till profilstorlek 500. Sidostagning kan utformas på olika sätt beroende på traverskranens driftklass. Vid driftklasser under S3 kan sidostagning göras med vanliga gängstänger som fästs i rampelaren. Större driftklasser leder till att utmattningen blir för stor på stängerna. Då kan sidostagningen i stället utföras som bultförband. (Husson, 2016, s. 57, 64-65)

6 REDOVISNING AV HALLENS DIMENSIONERING

I detta kapitel redovisas bakgrunden till de val som gjorts inför och under planeringen av byggnaden. Bygglovsritningarna har gjorts av ett lokalt företag i Pargas och därför ingick framställning av sådana inte i detta arbete. Hallens yttre mått är 17,96x49,80 meter. Byggnadens höjd är 24 meter hög från rampelarnas nedre kant och uppåt. Byggnaden utrustas med ett sadeltak med 28 graders lutning.

6.1 Brandklass och val av ytbehandling

Byggnadens totala area är 895 kvadratmeter. Byggnadens brandklass sätts till P2 baserat på tabell 1a och 1b i miljöministeriets förordning om byggnaders brandsäkerhet. Enligt dessa får byggnader i klassen P3 för en byggnad som klassas som produktions- eller lagerbyggnad vara högst 14 meter hög. Hallen är, där marken är som lägst, över 27 meter hög, vilket ger brandklassen P2. För P2 finns ingen höjdbegränsning för en våningsbyggnader. För denna typ av byggnader är den tillåtna våningsytan 4000 kvadratmeter i brandklass P2, detta kriterium uppfylls alltså också. Verksamheten anses vara förknippad med måttlig brandfara och brandfarlighetsklassen sätts därför till 1. Byggnadsmaterialens

ytor skall ha brandklasserna B-s1, d0 enligt tabell 7 i förordningen. Tabell 3 i förordningen ger klasskrav för bärande och stabiliserande konstruktioner för byggnader i brandklass P1 och P2. För produktions- eller lagerutrymme i en våning i brandklass P2 är klasskravet på konstruktionerna R30. Detta betyder att konstruktionerna skall klara av att motstå brand i 30 minuter utan att tappa sin bärförmåga. Om byggnaden förses med en lämplig automatisk släckningsanordning samt att konstruktionerna är av lägsta klass A2-s1, d0, kan klasskravet sänkas till R15. (848/2017, 2017) Denna byggnad förses dock inte med någon automatisk släckningsanordning och klasskravet R30 tillämpas.

För att uppnå kravet R30 målas stommen med brandskyddsfärg. Färgsystemet består av tre skikt. Som leverantör har Teknos valts på grund av att de erbjuder brandskyddsmålning som även klarar av att skydda stålytor mot korrosion i förhållanden som motsvarar korrosionsklass C5. Målsystemet ger alltså brandskydd och skydd mot korrosion på samma gång. Som grundfärg väljes Teknomastic 80 Primer. Detta är en epoxibaserad tvåkomponentsfärg som kräver att ytan förbehandlas genom blästring till klassen Sa 2½. Som mellanfärg används Hensotherm 920 KS. Även denna är en epoxibaserad tvåkomponentsfärg. Skiktjockleken bestäms för varje profil baserat på dess kritiska temperatur och tvärsnittsfaktor, som exempel av bestämning av skiktjocklek se bilaga 4 där tjockleken bestämts för kranbanebalken. Som täckfärg används Teknodur 0050 som är en polyuretanbaserad tvåkomponentsfärg. Målsystemets ingående målfärger är kompatibla med varandra. (Teknos.com, 2024)

Med hänsyn till korrosion tillges de väderskyddade konstruktionerna korrosionsklass C4 och de icke väderskyddade konstruktionerna korrosionsklass C5 baserat på innehållet i tabell 4.1. Figur 6.1 visar näromgivningen där hallen planeras byggas. För att uppnå de valda korrosionsklasserna skall grundfärgens skiktjocklek vara 80 mikrometer och täckfärgens skiktjocklek vara 60 mikrometer. Lagertjocklekarna har getts av Teknos.



Figur 6.1. Hallen byggs runt de slipskenor som syns i den röda rektangeln. Området är utsatt för exponering av havssalt. (Google Maps, 2024)

6.2 Egenvikter

Den bärande konstruktionen dimensioneras mot yttre belastningar i analysprogramvaran Robot Structural Analysis Professional 2024. Detta program behandlar den i programmet modellerade stommens egenvikt per automatik utgående från material och tvärsnitt som valts. Därför behöver endast mantelkonstruktioners egentyngder samt egentyngder från installationer och teknik beräknas eller uppskattas. Byggnaden planeras som en kall byggnad och det finns därför inte några krav på mantelkonstruktionernas U-värden. Dock kommer väggarna bestå av sandwichpaneler eftersom de är effektiva att montera. Även taket kommer isoleras med sandwichelement. Mantelkonstruktionernas uppbyggnad och dimensionering hittas i bilagorna 1 och 6.

6.3 Snölast

Byggnaden utrustas med ett sadeltak med en lutning på 28 grader. Eventuella snöhinder beaktas vid framtagning av snölasten. Framtagning av den karakteristiska snölasten för byggnaden redovisas i bilaga 2.

6.4 Vindlast

Byggnaden befinner sig i närheten av Pargas centrum och kommer att byggas i anslutning till havet. Norr om byggnaden ligger Finncements industriområde samt ett dagbrott. På östra sidan kommer havet emot, dock ligger byggplatsen i den inre skärgården där det inte finns så stora arealer med öppet hav. Till söder ligger en fjärd som efter några kilometer leder ut till öppet hav med centrala farleder och till väster ligger ett bostadsområde för egnahemshus. Bostadsområdet är relativt platt och vegetationen gles. På basen av detta väljs terrängtyp I för hallen. Framtagning av karakteristiska vindlaster för dimensionering redovisas i bilaga 3.

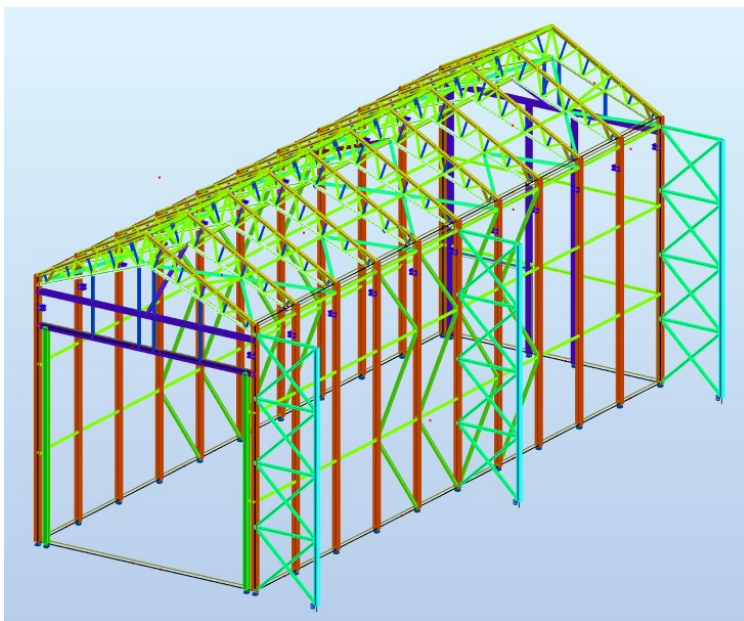
6.5 Traverskranlaster och dimensionering av kranbanorna

Beställaren av detta examensarbete önskar ha två traverskranar i taket för att kunna göra säkra lyft vid demontering och montering av diverse strukturer och utrustning på arbetsbåtar och färjor. Lyftkapaciteten för varje kran skall vara 10 ton. Laster från traverskranar kan beräknas från grunden enligt EN 1991–3, dock rekommenderas det att man tar kontakt med en kranleverantör redan vid planeringsskedet för att få exaktare laster att dimensionera med. I detta fall kontaktades kranleverantören Satateräs Oy och de skickade en sammanfattning av karakteristiska vertikala och horisontala laster som kranarna orsakar samt de dynamiska faktorer som skall användas vid beräkning av dimensionerande kranlaster. Specifikationen från Satateräs Oy finns i bilaga 5. På grund av byggnadens höjd, och för att uppnå en tillräcklig lyfthöjd, bestämdes tillsammans med kranleverantören att tvåbalks traverskranar används. Framtagning av dimensionerande laster samt dimensionering av traverskranbanorna redovisas i bilaga 4.

6.6 Modellbaserad beräkning

Byggnadens bärande och stabiliserande konstruktioner dimensionerades i programvaran Robot Structural Analysis professional 2024. Programmet bygger på finita elementmetoden, FEM, vilken är en numerisk metod som används för att lösa diverse problem med hjälp av datorer. Metoden används bland annat för att göra hållfasthetsanalyser. Programmet används alltså för att göra stabilitetsanalyser och hållfasthetsberäkningar. Programmet tillåter användaren att göra inställningar och ändringar enligt egna preferenser för att kunna dimensionera enligt nationella

bestämmelser. Byggnaden modelleras upp i programvaran och laster som tagits fram i bilagorna läggs in. Därefter genereras lastfallen och kompletteringar och optimeringar av konstruktionerna görs. Resultatet redovisas i form av skärmlapp där den modellerade stommen syns samt ett skärmlapp över en rams profiler och utnyttjandegrader.



Figur 6.2. Skärmlapp över hallens konstruktion. (Robot Structural Analysis Professional, 2024)

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio
74 FV-ÖB_74	RRHS 200x20	S355	16.34	116.19	0.71
75 FV-ÖB_75	RRHS 200x20	S355	16.34	116.19	0.69
76 FV-UB_76	RRHS 160x16	S355	71.18	29.61	0.50
77 FV-UB_77	RRHS 160x16	S355	71.18	29.61	0.41
78 Diagonaler_78	RRHS 160x80	S355	15.59	26.88	0.51
79 Diagonaler_79	RRHS 160x80	S355	18.88	32.57	0.39
80 Diagonaler_80	RRHS 140x80	S355	21.13	32.69	0.30
81 Diagonaler_81	RRHS 140x80	S355	24.29	37.57	0.27
82 Diagonaler_82	RRHS 140x80	S355	24.31	37.61	0.14
83 Diagonaler_83	RRHS 140x80	S355	27.82	43.04	0.13
84 Diagonaler_84	RRHS 140x80	S355	27.85	43.08	0.06
85 Diagonaler_85	RRHS 140x80	S355	31.58	48.86	0.06
86 Diagonaler_86	RRHS 140x80	S355	32.01	49.52	0.10
87 Diagonaler_87	RRHS 140x80	S355	39.62	61.30	0.21
88 Vertikaler_88	RRHS 100x60	S355	16.58	24.74	0.52
89 Vertikaler_89	RRHS 100x60	S355	22.79	34.00	0.06
90 Vertikaler_90	RRHS 100x60	S355	28.99	43.27	0.04
91 Vertikaler_91	RRHS 100x60	S355	35.20	52.53	0.04
92 Vertikaler_92	RRHS 100x60	S355	41.56	62.02	0.04
93 Diagonaler_93	RRHS 160x80	S355	15.59	26.88	0.35
94 Diagonaler_94	RRHS 160x80	S355	18.88	32.57	0.28
95 Diagonaler_95	RRHS 140x80	S355	21.13	32.69	0.20
96 Diagonaler_96	RRHS 140x80	S355	24.29	37.57	0.17
97 Diagonaler_97	RRHS 140x80	S355	24.31	37.61	0.07
98 Diagonaler_98	RRHS 140x80	S355	27.82	43.04	0.05
99 Diagonaler_99	RRHS 140x80	S355	27.85	43.08	0.05
100 Diagonaler_1	RRHS 140x80	S355	31.58	48.86	0.05
101 Diagonaler_1	RRHS 140x80	S355	32.01	49.52	0.12
102 Diagonaler_1	RRHS 140x80	S355	39.62	61.30	0.21
103 Vertikaler_10	RRHS 100x60	S355	16.58	24.74	0.36
104 Vertikaler_10	RRHS 100x60	S355	22.79	34.00	0.05
105 Vertikaler_10	RRHS 100x60	S355	28.99	43.27	0.03
106 Vertikaler_10	RRHS 100x60	S355	35.20	52.53	0.03
107 Vertikaler_10	RRHS 100x60	S355	41.56	62.02	0.03
108 Rampelare_1	HEB 400	S355	112.66	86.67	0.56
109 Rampelare_1	HEB 400	S355	112.66	86.67	0.33
478 Travershylla	HEB 300	S355	8.77	15.04	0.08
479 Travershylla	HEB 300	S355	8.77	15.04	0.23

Figur 6.3 Tredje ramens profiler och utnyttjandegrader. (Robot Structural Analysis Professional, 2024)

7 SLUTRESULTAT

Målet med arbetet var att planera och dimensionera ett väderskydd för båtslipen åt uppdragsgivaren. Detta gjordes som en praktisk del av arbetet. Bilagorna innehåller redovisning av lastframtagning, dimensionering av kranbanebalken genom handberäkning samt val av för- och ytbehandling av stålkonstruktionen. Resultaten från lastredovisningarna fördes sedan in i Robot och en konstruktion som klarar av belastningarna utformades. För att uppfylla målet krävdes fördjupning inom de aspekter som den teoretiska delen behandlar. Delmål med syftet att få en djupare förståelse i lastframtagning, för- och ytbehandling av stål samt dimensionering och utformning av traverskranbanor ställdes upp. För att uppfylla dessa delmål studerades ämnena vilket sedan resulterade i olika teoriavsnitt som behandlar aspekterna.

Resultatet av arbetet kan även återspeglas i de forskningsfrågor som ställdes upp då planeringen av arbetet gjordes, därför ges här några korta svar till varje fråga.

1. Vilka typer av laster är väsentliga vid dimensionering av en industrihall belägen vid kusten?

Byggnader i kustförhållanden påverkas av hård vind. Terrängklassen för sådana byggnader skall alltid vara I eller 0. Detta resulterar i stora karakteristiska vindlaster som ger stora moment i ytterväggarnas pelare och orsakar stora belastningar på snedstag. Hårda vindar kan även orsaka att snölaster reduceras. Mantelkonstruktionerna på industrihallar kan utföras med enkla lösningar som har låga egenvikter. Låga egenvikter och reducerad snölast ger lägre normalkrafter på grunden. Låga normalkrafter i kombination med stora horisontala laster ger utmaningar i planeringen. För industrihallar som utrustas med stora dörrar bör det ökade interna vindtrycket tas i beaktande.

2. Vilka metoder finns för ytbehandling av stål samt vilka standarder bör följas?

Vid fördjupning i detta ämne visade det sig finnas en hel del olika lösningar på ytbehandling. De två allmänna sätten att skydda stål på är genom förzinkning och målning. Valet av ytbehandling bör beaktas skilt för varje projekt. Standarder som behandlar detta är EN ISO 12944, EN ISO 14713, EN ISO 2063, EN ISO 2081, EN ISO 8501 samt EN ISO 8504.

3. Hur skall en stålkonstruktion ytbehandlas så att den klarar av industri- och kustförhållanden?

De ytbehandlingar som mest lämpar sig för den här typen konstruktioner är de som uppfyller korrosionsklasserna C4 eller C5 eller eventuellt de klasser som beaktas ännu värre miljöer. Varmförzinkning eller målning är att rekommendera. Zinklagrets tjocklek eller målsystemets uppbyggnad bör bestämmas skilt för varje projekt eftersom valet beror på så många olika faktorer.

4. Hur ska en traverskranbana dimensioneras och utformas?

Vid dimensionering av en traverskranbana skall karakteristiska laster och dynamiska faktorer helst erhållas från en leverantör. Dessa skall sedan omvandlas till dimensionerande laster genom kombination med dynamiska faktorer. Snittkrafter tas fram med influenslinjer eller dataprogram. Vid dimensionering i brottgränstillstånd kontrolleras bärförmåga mot moment, tvärkraft, vippning, skjuvning och koncentrerat hjultryck. Vid kontroll i bruksgränstillstånd kollas deformationer, livandning samt underflänssvängningar. Utmattning på olika ställen av balken bör också kontrolleras. Som kranbanebalkar används antingen valsade eller svetsade tvärsnitt. Balken utrustas med en räl som svetsas eller fäst med klamrar. Livavstyvningar vid upplagen används ofta. Upplagen utformas så att vinkeländringar kan ske utan att deformera travershyllan.

8 DISKUSSION

Detta examensarbete har varit krävande att utföra, dock har det gett mycket ny kunskap samt nya insikter. Arbetet har gett bättre inblick i hur olika laster påverkar en konstruktion. Lastframtagning genomgås dock rätt så noggrant i skolan vilket var till stor nytta. För- och ytbehandling av stål genomgås väldigt ytligt i skolan. Det är ett brett ämne som kräver att man lägger ner tid och energi för att kunna omfamna alla de anvisningar som finns. Har man inte tillräcklig kunskap finns det stor risk att ämnet känns flummigt. Dock är det ett mycket relevant ämne inom planeringen och därför har det behandlats i detta arbete.

Dimensionering och utformning av traverskranbanor var något helt nytt och behandlas inte i kurserna i skolan. Denna del av arbetet var den mest utmanande delen. Både att läsa in

sig och förstå de tankesätt och metoder som används vid planeringen av en kranbanebalk men också själva dimensioneringen som bland annat innehåller kontroll mot utmattning. Lasterna och spänningarna var det som tog mest tid att reda ut eftersom allt från dynamiska faktorer till skadeekvivalensfaktorer från lastcykler skulle beaktas.

Före hallen kan börja byggas behöver dimensionering av anslutningar göras samt en modell i Tekla modelleras för att kunna göra tillverknings- och monteringsritningar. Dessutom behöver grunden planeras. En vidareutveckling av detta arbete skulle kunna innehålla någon av dessa delar.

9 KÄLLFÖRTECKNING

- 848/2017. (2017). *848/2017 Miljöministeriets förordning om byggnaders brandsäkerhet*. Helsingfors: Miljöministeriet.
- Abus kransystem. (den 12 april 2024). *Abus-kransystem*. Hämtat från Travers & traverskranar: <https://www.abus-kransystem.se/kranar/travers>
- Chatterjee, B. (2005). Mechanical plating. i *Galvoteknik* 96.
- Google Maps. (den 16 April 2024). Hämtat från <https://www.google.com/maps/@60.2811849,22.2871742,162m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- Husson, W. (2016). *Traverskranbana*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.
- Kangaspuoskari, M., & Papula, S. (2020). Teräsrakenteiden suunnittelun erityiskysymyksiä. i *Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus*. Teräsrakeneyhdistys ry.
- Lundin, K., & Uppfeldt, B. (2008). *Stålbyggnad*. Stålbyggnadsinstitutet.
- Malaska, M. (2020). Palomitoitus. i *Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus*. Teräsrakeneyhdistys ry.
- Markanvändnings- och bygglagen 132/1999. (1999). *Finlex*. Hämtat från Markanvändnings och bygglagen (Lag om områdesanvändning): <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/1999/19990132>
- NA(Fi) 1991-1-1. (2016). *Miljöministeriet: 4/16 Miljöministeriets förordning om nationella val beträffande volymvikter, egenvikter och nyttolaster för byggnader vid tillämpning av standarden SFS-EN 1991-1-1*. Hämtat från Miljöministeriet: www.ym.fi
- NA(Fi)-1991-1-3. (2016). *Miljöministeriet: 6/16 Miljöministeriets förordning om nationella val beträffande snölaster vid tillämpning av standarden SFS-EN 1991-1-3*. Hämtat från Miljöministeriet: www.ym.fi
- NA(Fi)-1991-1-4. (2016). *Miljöministeriet: 7/16 Miljöministeriets förordning om nationella val beträffande vindlaster vid tillämpning av standarden SFS-EN 1991-1-4*. Hämtat från Miljöministeriet: www.ym.fi
- NA(fi)-1991-3. (2016). *Miljöministeriets förordning om nationella val beträffande last av kranar och andra maskiner vid tillämpning av standarden SFS-EN 1991-3*. Hämtat från Miljöministeriet: www.ym.fi
- NA(fi)-1993-6. (2019). *Konstruktioners hållfasthet och stabilitet - Stålkonstruktioner*. Hämtat från Miljöministeriet: www.ym.fi
- Nordic Galvanizers. (2019). *Handbok i varmförzinkning*. Nordic Galvanizers.
- Ongelin, P., & Valkonen, I. (2016). *SSAB Domex Tube RAKENNEPUTKET*. SSAB Europe Oy.

- Outinen, J., Huittila, M., Yrjölä, P., Jokelainen, K., Vääänen, R., Järvinen, J., . . . Mattsson, T. (2017). *Teräsrakenteiden palosuojamaalaus 2017*. Teräsrakeneyhdistys ry.
- Papula, S. (2020). Terästen valmistus, ominaisuudet ja tuotteet. i *Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus*. Teräsrakeneyhdistys ry.
- Persson, J. (2022). *Innebörden av passivt brandskydd*. Hämtat från Nullifire: <https://www.nullifire.com/sv-se/inspiration/blogg/vad-aer-passivt-brandskydd/>
- Persson, J. (2022). *Olika typer av brandskyddsfärger för stål*. Hämtat från Nullifire: <https://www.nullifire.com/sv-se/inspiration/blogg/olika-typer-av-svaellande-brandskyddsfaerger-och-deras-foerdelar/>
- SFS-EN ISO 12944-1. (2017). *Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1: Yleistä*. SFS.
- SFS-EN ISO 12944-2. (2017). *Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympärisöolosuhteiden luokittelu*. SFS.
- SFS-EN ISO 12944-4. (2017). *Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsitteily*. SFS.
- SFS-EN ISO 12944-5. (2019). *Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät*. SFS.
- SFS-EN ISO 14713-1. (2017). *Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet ja korroosionkestävyys*. SFS.
- SFS-EN ISO 14713-2. (2020). *Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 2. Kuumasinkitys*. SFS.
- SFS-EN ISO 14713-3. (2017). *Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 3: Sherardisointi*. SFS.
- SFS-EN ISO 2063-1. (2019). *Terminen ruiskutus. Sinkki, alumiini ja niiden seokset. Osa 1 Korroosionestojärjestelmien suunnitteluun liittyvät näkökohdat ja laatuvaatimukset*. SFS.
- SFS-EN ISO 2063-2. (2017). *Terminen ruiskutus. Sinkki, alumiini ja niiden seokset. Osa 2: Korroosionestojärjestelmien toteuttaminen*. SFS.
- SFS-EN ISO 2081. (2018). *Metalliset ja muut epäorgaaniset pinnoitteet. Raudan tai teräksen sähkösaostetut sinkkipinnoitteet lisäkäsitteilyineen*. SFS.
- SFS-EN ISO 8501-1. (2007). *Teräspintojen esikäsitteily ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsitteilyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdi*. SFS.
- SFS-EN ISO 8501-2. (2001). *Teräspintojen esikäsitteily ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 2: Ennestään pinnoitetun teräksen esikäsitteilyasteet sen jälkeen kun aikaisemmat pinnoitteet on poistettu paikoittain*. SFS.

- SFS-EN ISO 8501-3. (2007). *Teräspintojen esikäsitteily ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 3: Hitsien, leikkaussärmien ja muiden pintavirheellisten alueiden esikäsitteilyasteet*. SFS.
- SFS-EN ISO 8504-2. (2019). *Teräspintojen esikäsitteily ennen maalien ja vastaavien tuotteiden levitystä. Osa 2: Raesuihkupuhdistus*. SFS.
- SS-EN 1991-1-1. (2011). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentyngd, nyttig last för byggnader*. SIS.
- SS-EN 1991-1-3. (2003). *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-3: Allmänna laster - Snölast*. SIS.
- SS-EN 1991-1-4. (2005). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. SIS.
- SS-EN 1991-3. (2006). *Laster på bärverk - Del3: Last av kranar och maskiner*. Svenska Institutet för standarder.
- SS-EN 1993-1-9. (2005). *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-9: Utmattning*. SIS.
- SS-EN 1993-6. (2007). *Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 6: Kranbanor*. Svenska Institutet för Standarder.
- SteelConstruction.info. (u.d). *Fire protecting structural steelwork*. Hämtat från SteelConstruction.info:
https://www.steelconstruction.info/Fire_protecting_structural_steelwork#cite_ref-No5_5-0
- SteelConstruction.info. (u.d). *Metallic coatings*. Hämtat från SteelConstruction.info:
https://www.steelconstruction.info/Metallic_coatings
- Sumkin, H., Mononen, E., Kärnä, T., Tikanoja, T., & Åström, G. (2017). *RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. Helsingfors: SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry.
- Teknos.com. (den 12 april 2024). *Maalausjärjestelmät teräksen palosuojaukseen*. Hämtat från Teknos: <https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/erikoispinnoitteet/palosuojaus--ja-kuumankestavat-tuotteet/teras-palosuojamaalaus/paint-systems-and-country-approvals-for-fire-protection-of-steel/>
- Tiainen, T., Papula, S., Mela, K., Kangaspuoskari, M., Lehtimäki, E., Lahdenmaa, J., & Malaska, M. (2020). *Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus*. Helsingfors: Teräsrakenneyhdistys ry.
- Wahl, S. (den 23 Februari 2022). *Ocean Fireproofing*. Hämtat från Fireproofing:
<https://oceanfireproofing.com/what-is-fireproofing/>
- Ylitalo, J. (2015). *Sinkitysmenetelmät. Teräsrakenne 1/2015*.