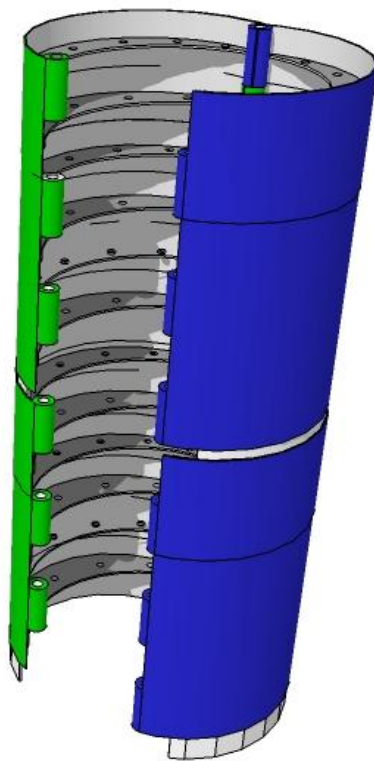




Utformning av nytt isskydd i plast

Skydd för kajpålar i Göteborgs hamn

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ANDERS BENGTSSON
GUSTAV THORNSTRÖM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2011
Examensarbete 2011:95

EXAMENSARBETE 2011:95

Utformning av nytt isskydd i plast

Skydd för kajpålar i Göteborgs hamn

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ANDERS BENGTSSON

GUSTAV THORNSTRÖM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2011

Utformning av nytt isskydd i plast
Skydd för kajpålar i Göteborgs hamn

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

ANDERS BENGTSSON
GUSTAV THORNSTRÖM

© ANDERS BENGTSSON & GUSTAV THORNSTRÖM, 2011

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2011:95

Institutionen för bygg och miljöteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Nytt isskydd i plast

Chalmers Reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2011

Utformning av nytt isskydd i plast
Skydd för kajpålar i Göteborgs hamn

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

ANDERS BENGTSSON
GUSTAV THORNSTRÖM
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Göteborgs Hamn är ett företag i ständig utveckling, vilket kräver ett fortlöpande underhåll av kajer och pålar för att bibehålla den kvalitet på service som erbjuds idag. Användningen av isskydd på pålarna är idag det sätt som används för att bevara pålarnas grundkapacitet vid påfrestningar från is och vatten.

För att vara med och leda utvecklingen inom detta område och få möjlighet att sänka kostnaderna jämfört med de tidigare dyra skydden i stål tog man upp möjligheten med att tillverka ett isskydd i plast. Kravet är att det ska tillverkas med liknande egenskaper som dagens, med lång livslängd och god nötningsbeständighet mot is, salt och UV-ljus. För att möjliggöra en framtida serieproduktion av isskyddet är det viktigt att den nya utformningen tillsammans med materialval resulterade i en mer ekonomiskt fördelaktig situation. Monteringsprocessen skulle förenklas och dykarnas tid i vattnet ska kapas.

En ny utformning var nödvändig på grund av att plastformens tillverkningssätt inte tillät en likadan utformning som dagens isskydd i stål. Utformningen resulterade i en tvådelad form där förslutningen görs med hjälp av en fingerskarv och istucket stag. Isskyddet tillverkas i två sektioner som tillsammans bildar en hel isskyddsform. Skarvingen mellan dessa möjliggörs med hjälp av en skarvfläns placerad i nederkant på varje sektionens insida.

För att utvärdera isskyddets konstruktion och monteringsprocess tillverkades en fullskalig prototyp som också kom att användas vid en testgjutning. Förutsättningarna efterliknade i stort det tänkta isskyddet med undantaget att detaljerna nitats och skruvats fast samt att en annan plast användes. Prototypen visade på ett smidigt utformat isskydd. Dessutom var monteringen av prototypen relativt lätt att genomföra. Gjutningen visade dock på en konstruktion som inte klarade av trycket från betongen vilket resulterade i några mindre läckage och att formen bågnade ut. Provgjutningen gav information om de konstruktionsfel som uppstått vid utformningen vilket leder till en diskussion om förbättringar som kan vidtas vid en eventuell vidareutveckling.

Nyckelord: Isskydd, utformning, hamn, is, prototyp, plast, stål, nötning.

Design of a new ice protection in plastic
Protection of the piles in the port of Gothenburg

*Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering*

ANDERS BENGTTSSON
GUSTAV THORNSTRÖM
Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Port of Gothenburg is a company in constant development which requires an ongoing maintenance of piers and piles to maintain the quality that is being offered today. The use of ice protection on the piles is today the method that is used to preserve the basic capacity of the piles after pressure from ice and water.

In order to lead the development in this area and get the opportunity to push the economy compared to the previous expensive protection made out of steel; the port addressed the opportunity to produce a new ice protection in plastic. The requirement was that it would be produced with similar characteristics as the current, such as long lifespan and wear resistance against ice, salt and UV light. To enable future mass production of the ice protection it was important that the new design along with materials resulted in a more economically advantageous situation. The assembly process should be simplified and the diver's time in the water should be reduced.

A new design was necessary because of the manufacturing process did not allow a similar form as today's ice protection of steel. The design resulted in a two-part form in which the seal is made with a finger joint and a rod. The ice protection was made in two sections which together make up a complete ice protection. The joining between these are made possible through a joining edge placed in the bottom of each section inside.

In order to thoroughly evaluate the ice protection design and assembly process it was produced as a full-scale prototype that also would be used in a test casting. The preconditions showed the ice protections basic functions with the exceptions that the details were studded and screwed, and that another plastic was used. The prototype reflected a smoothly designed ice protection. The assembly of the prototype were easy to carry out. The casting, however, showed that the plastic could not handle the pressure of the concrete, which resulted in some minor leaks and that the form was sagging out. This operation gave information about the design flaws that was made during the design process, which results in a discussion of enhancements that can be made in any further development.

Key words: Ice protection, design, harbor, ice, prototype, plastic, steel, wear.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	1
2 GÖTEBORGS HAMN	2
3 BETONGENS EGENSKAPER OCH SKADOR	3
3.1 Materialteori - betong	3
3.1.1 Ballast	3
3.1.2 Cement	3
3.2 Skadeorsaker	4
3.2.1 Kemiska skador	4
3.2.2 Mekaniska skador	6
4 SKADEZONENS UTBREDNING PÅ PÅLEN	8
4.1 Vattennivåns variation	8
4.2 Isens variation	8
5 UNDERVATTENSGJUTNING	9
5.1 Gjutning med pump	9
5.2 Gjutning med tratt	10
5.3 Torrgjutning	10
6 MONTERING AV BEFINTLIGT ISSKYDD I STÅL	11
6.1 Monteringsprocess	11
6.2 Utvärdering av dagens monteringsanvisningar	16
7 NYTT ISSKYDD I PLAST	17
7.1 Isskyddets placering	17
7.2 Utformning av isskydd	18
7.2.1 Designprocessen	18
CHALMERS, Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2011:95	III

7.3	Isskyddsprototyp	20
7.3.1	Materialteori Polyamid	20
7.3.2	Prototypframtagning	21
7.3.3	Ekonomi	21
7.4	Prototyptillverkning	22
7.4.1	Hur vi tror prototypen fungerar	23
7.5	Monteringsprocess av nytt isskydd	23
7.5.1	Monteringsprocess	23
7.6	Provgjutning	24
7.6.1	Resultat från prototypgjutning	25
8	DISKUSSION	26
8.1	Hur man bör gå vidare	26
9	AVSLUTNING	28
10	REFERENSER	29
11	BILAGOR	31
11.1	Bilaga 1: Färdigt monterat befintligt isskydd i stål	31
11.2	Bilaga 2: Ritning över befintlig isskydd i stål.	32
11.3	Bilaga 3: Ritning över prototyp version 3.	33
11.4	Bilaga 4: Offert över prototyptillverkning från Got Design	34

Förord

Denna rapport beskriver vårt examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för Bygg- och Miljöteknik. Examensarbetet har gjorts i samarbete med Göteborgs Hamns anläggningsavdelning som varmt välkomnat oss och vårt arbete. Rapporten har inneburit mycket bakgrundsinsläring men också praktiskt arbete.

Framförallt vill vi tacka vår handledare på Göteborgs Hamn Tobias Hagman som gett oss möjlighet att genomföra denna rapport. Han har bistått med idéer och information som hela tiden gjort att vi kunnat gå vidare med arbetet. Vi skulle också vilja tacka Pontus Skoglund som varit ett stort stöd i förståelsen med problematiken hos monteringen men också hjälpt oss i det praktiska arbetet. Linda Renner som arbetar som arbetschef på Göteborgs Hamn har också varit till stor hjälp i arbete med att rätta rapporten och länka oss och våra frågor vidare till kunnig personal.

Vår handledare och examinator på Chalmers, Steve Svensson, har haft god uppföljning av vårt arbete och gett oss nya synsätt som hjälpt oss fördjupa rapporten.

Vi vill nu tacka alla våra medarbetare som visat engagemang för vårt examensarbete och vi känner att vi blivit bemötta med nyfikenhet som gjort att vi velat arbeta med en målsättning att påbörja ett arbete som kan bidra med förbättringar i Göteborgs hamn.

Göteborg maj 2011

Anders Bengtsson

Gustav Thornström

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Pålarna i Göteborgs hamn befinner sig i en extremt utsatt miljö då de dagligen utsätts för nötning och kemiska angrepp runt vattenlinjen. För att skydda dessa pålar används idag isskydd i rostfritt stål som sveps runt den utsatta delen av pålen och bildar ett hölje som sedan används som en kvarsittande form vid gjutning. Ett sådant skydd kostar cirka 30 000 kronor och den största delen av denna summa utgörs av arbetskostnader. Det är därför en stor angelägenhet för hamnen att utveckla och kostnadseffektivisera metoden.

Hamnen har påbörjat ett samarbete med ett företag vid namn Got Design för att utveckla en ny form i plast. De nuvarande skydden fungerar bra för de ändamål de är tillverkade för, men kostnaderna för material och montering är för stora och Göteborgs Hamn undersöker därför andra alternativ. Vi skall då vara med i denna process att utveckla isskyddet så att det utformas optimalt och för att effektivisera montering och minimera kostnaden. Detta ligger till grund för vårt examensarbete.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att i samråd med Got Design och kompetenta personer inom anläggningsdykning vid Göteborgs hamn utveckla och utvärdera formgivningen av ett nytt isskydd i plast. I arbetet ingår även att ta fram en ny arbetsberedning för monteringen av det nya isskyddet.

1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer huvudsakligen att begränsas till utformningen av ett nytt isskydd där störst hänsyn läggs på en förenklad monteringsprocess och en design som står emot nötning och krafter från is och klorider. Beaktande kommer inte läggas på att klara formtryck från betongen samt att försöka integrera armering i isskyddet.

1.4 Metod

För att få en mer ingående förståelse över problematiken och vad ett isskydd har för betydelse för en hamn gjordes en grundläggande litteraturstudie. Information togs framförallt från böcker men även rapporter och intervjuer av sakkunniga på Göteborgs Hamn. Vidare användes ritningar från dagens isskydd samt samtal med före detta anläggningsdykare som grund till isskyddets nya utformning.

För att utvärdera de ritningar som gjorts på isskyddet gjordes en fullskalig prototyp där möjlighet gavs att upptäcka uppenbara fel i utformningen. En ytterligare granskning kunde sedan göras i samband med en gjutning av prototypen som i stort efterliknade momenten hos ett verkligt fall.

Intervjuer har hållits med plastföretaget Got Design för att få information om vilket material som kan tänkas användas och för att kunna ge en ungefärlig prisbild.

2 Göteborgs hamn

Göteborgs hamn grundades för över fyrahundra år sedan och har idag utvecklats till nordens största hamn. Hamnen består bland annat av:

- 20 kilometer kaj
- 20 oljekajer
- 3 passagerarterminaler
- 1 kryssningsterminal

Inom hamnen hanteras det flera olika godssorter, de mesta består av:

- Olja
- Containerar och trailrar
- Timmerprodukter, till exempel papper
- Stålmateriel
- Bilar

En god sjöfart är en förutsättning för Sveriges handel med utlandet då ungefär 90 % av Sveriges export går via vattnet. Därför krävs det hamnar med stor kapacitet för att hantera stora volymer. Idag går cirka 70 % av den svenska containermarknaden via Göteborgs hamn, dessutom hanterar hamnen 33 % av de svenska oljevolymerna och 25 % av trailer- och roroanlöpen. Göteborgs hamn är också den enda hamn i Sverige som har kapaciteten att kunna ta emot stora reguljära transatlantiska fartyg (Göteborgs Hamn AB 2011). Med den tunga trafiken vid hamnen krävs det ett ständigt underhåll av anläggningarna. En konstruktionsdel som tar stor skada på anläggningen är de pålar som bär upp den 20 kilometer långa kajen längs hela havslinjen. Pålarna är placerade i en mycket utsatt miljö och en stor del av betongelementen skyddas därför av isskydd. Detta för att minimera nötningen från vågor och is samt att till viss del skydda från kemiska angrepp. Beklädnaden består idag av rostfritt stål men tidigare användes också svartplåt som skydd runt pålarna, se figur 1 nedan. (Göteborgs Hamn 2011).



Figur 1: Befintligt isskydd i rostfritt stål.

3 Betongens egenskaper och skador

3.1 Materialteori - betong

Betong består av framförallt tre huvudingredienser: ballast, cement och vatten. Under senare år har det blivit allt vanligare med tillsatsmedel som blandas ner i betongen för att förbättra dess egenskaper. Exempel på dessa är bättre sammanhållning av betongmassan, fördröjd härdningstid och frostbeständighet (Johansson 2006).

3.1.1 Ballast

Ballastens storlek beror på var och under vilka förutsättningar betongen skall användas. Stenstorleken varierar mellan allt från tiondels millimetrar till några centimeter. För att kunna styra egenskaperna hos betongen och minimera för stora skillnader delas stenstorleken upp i olika fraktioner med en undre och övre gräns, exempelvis 11-16 millimeter. En tumregel för att få ordentlig vidhäftning är att största storlek på sten inte bör vara större än en fjärdedel av en konstruktions minsta passage (Almgren 2009).

Vid gjutning under vatten är det viktigt att betongmassan har en god utflytningsförmåga och sammanhållning för att undvika att cementpastan sköljs ur av omgivande vatten. Detta kan till viss del förbättras genom ett bra val av ballast. Materialet bör bestå av ungefär 10 % sten <0,25 millimeter och mängden ballast >4 millimeter bör vid största stenstorlek 32 millimeter inte överstiga 52 % (Ljungkrantz 1987).

3.1.2 Cement

Cement består av kalksten och lermineral som fått bränna och bilda kalcium- och kiseloxider. Dessa ämnen tillsammans med diverse tillsatsämnen bildar cement och har som egenskap att hårdna efter kontakt med vatten. Framställningen av cement kan ske på en mängd olika sätt och det är därför också möjligt att skapa cement för olika ändamål (Almgren 2009).

Den vanligaste sorten heter Portlandcement och kan fås i olika sammansättningar:

- Snabbt hårdnande (SH)
- Standard (Std)
- Långsamt hårdnande (LH)

Snabbt hårdnande cement används oftast vid mer speciella förutsättningar och krav, det kan till exempel bero på att avformning måste ske snabbt in på gjutning eller att temperaturen är för låg för att låta betongen hårdna långsamt (Almgren 2009).

Standardcement, även kallat byggcement, är som namnet beskriver den vanligaste sorten inom byggsektorn, härdningstiden ligger mellan de två andra alternativen.

Den sista typen, långsamt hårdnande, kallas också för anläggningscement och har som egenskap att hårdna långsamt vilket har en positiv effekt med minskad sprickbildning vid stora konstruktioner såsom bropelare eller dammar (Almgren 2009).

Vid undervattensgjutning bör en betong med ett lågt vct (vattencementtal) användas för att erhålla en tät betong med hög hållfasthet och täthet. Den ovan nämnda anläggningscementen är ett bra alternativ på grund av dess höga permeabilitet och då den är mycket motståndskraftig mot sulfatangrepp, (Ljungkrantz 1987).

3.2 Skadeorsaker

Skadorna på pålarna under kajen uppkommer i första hand på grund av nötning från isens rörelse. Denna nötning luckrar med tiden upp det skyddande iskyddet och den mekaniska nötningen kommer tillsammans med kemikalier från saltvattnet att fortsätta långsamt bryta ner betongen. När pålens armering exponeras korroderar denna på grund av kemikalierna i saltvattnet. Restprodukten från korrosionen ger en volymökning och denna volymökning får till följd att betongen spricker ytterligare, se figur 2.



Figur 2: Skadad påle där tidigare iskydd i svartplåt vittrat sönder.

Enligt Stig Östfjord på Göteborgs Hamn så är det planerat att 200-300 pålar skall repareras under Masthuggskajen och Majnabbehamnen i Göteborg inom den närmsta femårsperioden. Kostnaden för ett nytt iskydd uppgår till 25-30 000 kronor beroende på ifall iskyddet skall armeras eller ej. Inklusive projekteringskostnader blir priset cirka 50-60 000 kronor per iskydd.

3.2.1 Kemiska skador

3.2.1.1 Ettringit

Ettringit bildas naturligt i all betong av de ingående komponenterna i cementpastan. Dessa komponenter är sulfat (som finns i gips- kalciumsulfat) och kalciumaluminat. De båda kemikalierna bildar kalciumsulfaluminat, även kallat ettringit. När ettringiten bildas så upptar det mer volym än de ämnena som det bildas ifrån. Bildning av ettringit brukar ske inom det första dygnet, detta är dock inte farligt då det sprids ut jämnt i den då flexibla betongen (Farny 1996). Betongkonstruktioner som befinner sig i marin miljö utsätts för konstant påverkan av till exempel nötning och frostsprängningar som kan bilda små sprickor och liknande skador. Ettringiten som finns i betongen kan då lösas upp och kristalliseras på nytt i dessa sprickor. Kristallerna är då synliga och är i storleksordningen 2 till 4 mikrometer höga och runt 30 mikrometer långa. Dessa bildningar av kristalliserat ettringit har visat sig ofarliga enligt olika undersökningar och bör istället ses som en indikator på att betongen håller på och brytas ner (Farny 1996).

Om ettringit fortsätter att bildas under en längre tid och det inte finns tillräckligt med utrymme för ettringiten i till exempel luftfickor och sprickor så kan ettringiten ge upphov till att betongen sönderdelas på grund av svällverkan. Ettringiten brukar då bildas kring ballasten i betongen och separera den från cementpastan. Endast efter lång tid resulterar denna bildning av ettringit i allvarlig sönderdelning (Farny 1996).

3.2.1.2 Sulfatangrepp

Ett angrepp av sulfat på betong är den allvarligaste formen av saltangrepp. Sulfatens angreppsprocess gör att betongen expanderar vilket gör att sprickor uppstår och hållfastheten sjunker (Rombén 1997). Sulfatjonerna i havsvattnet reagerar med aluminaterna och kalken i cementet, dock är processen ej exakt klarlagd. Vid hög koncentration av sulfat är det i princip fastställt att gips bildas av sulfaten och kalken i pastan. Reaktionen ger upphov till sprängning av konstruktionen då gipset bildas med en viss volymökning (Rombén 1980).

Då betongen krackelerar ökar påverkan av den mekaniska erosionen, det vill säga drivas, tidvatten och vågor får lättare att bryta ner betongkonstruktionen (Göteborgs Hamn internt dokument).

Dock är sulfatangrepp inte ett stort problem trots att vattnet innehåller tillräckligt höga halter av sulfat. Detta beror på att det vanligtvis bildas ett basiskt hinderande skikt på betongytan som består av kalciumkarbonat, CaCO_3 (Rombén 1980).

3.2.1.3 Kloridangrepp

Vid reaktion mellan cement och vatten bildas kalciumhydroxid, vilket gör betongen mycket basisk och får ett pH-värde mellan 12-13 (Brännström 1987). Den mycket alkaliska miljön skyddar den ingjutna armeringen mot korrosion via ett tunt oxidskikt som omsluter järnet (Almgren 2009). Rostangrepp kan trots skyddet ske, ofta på grund av allt för höga kloridhalter i betongen. Detta drabbar oftast betong i stränga förhållanden så som havsmiljöer och konstruktioner med för mycket kontakt med lösalter (Ullberg 2006).

Kloridernas penetrering in till stålet sker i de flesta fall mycket långsamt och i huvudsak är det betongens täthet och fukthalt som avgör inträngningshastigheten. För att en reaktion skall ske krävs det att betongen hålls relativt fuktig eftersom förflyttningen in mot armeringen sker via diffusion. Angreppen kan dock inte starta om betongen är vattenmättad och saknar tillgång på luft eftersom korrosion ej kan bildas utan tillgång på syre. För att minska porositeten och göra betongen tätare används ett lågt vattencementtal (vct) vilket försvårar för diffusionen av klorider (Almgren 2009). Miljöer där betongens ytskikt ständigt utsätts för salter och varierande fukthalter, exempelvis pålar i marin miljö, ökar inträngningen av klorider (Ullberg 2006).

Korrosionsprocessen kallas gropfrätning eller pitting och angriper armeringen punktvis och arbetar sig långsamt inåt (Carlsson 2007). De produkter som bildas vid korrosion sker med en volymökning och leder efter brist på utrymme till sprickbildningar i betongen. Detta sker vanligtvis redan efter ett par millimeters rostangrepp i järnet vilket också kan resultera i att hela täckskikt separeras från armeringen (Almgren 2009).

3.2.2 Mekaniska skador

3.2.2.1 Frostsprängning

Betongkonstruktioner placerade i fukt- och frostutsatta miljöer kan vid vissa förutsättningar drabbas av frostsprängning. Detta beror främst på porstrukturen hos betongen i vilket vatten kan pressas in och fylla håligheter i konstruktionen (Emborg 2007).

På grund av vattenabsorption fylls betongens porer och håligheter av vatten vilket i vintertid kan resultera i ökade spänningar eftersom vattens övergång till is sker med en volymökning. Resultatet av krafterna då vattnet inte har plats att expandera leder till sprickbildningar eller att materialet till slut sönderdelas (Almgren 2009). För att reducera problemet med frostsador krävs framförallt en betong med hög porositet där porerna är små och många. Vanlig betong utan tillsatsmedel innehåller redan ungefär 2 % luft fördelat i porer medan målet för betong vid undervattensgjutning ligger runt 5 %. För att nå förutsättningarna för en frostbeständig betong tillsätts ett porbildande ämne som fördelar luften i små, jämt fördelade håligheter vilket är ett villkor för att en volymökning skall kunna ske. I de fall där en expansion ej kan ske uppkommer brott. Minimalt avstånd mellan porerna är ett krav för frostbeständighet (Almgren 2009).

För konstruktioner i havsmiljö och där temperaturen kan nå fryspunkt finns förutom kravet på luftporbildande medel ett krav på ett högsta tillåtna vct på 0,4 vilket innebär en mer vattentät betong. Detta är för att frostsprängningen inte ska ske men också för att minimera risken att salter skall nå fram till armeringen och starta en korrosionsprocess. Temperaturen för frysning är lägre för saltvatten än för sötvatten vilket innebär att spänningarna uppkommer i ett senare skede för konstruktioner i havsmiljö än för dem som utsätts för sötvatten (Emborg 2007).

3.2.2.2 Nötning från is

Betongpålar och andra konstruktioner placerade i havsmiljö kan under vintertid utsättas för stora krafter på grund av is, se figur 3. Det finns en mängd olika fall där isen ger upphov till nötning och påfrestningar på betongen. De tre främsta är fast istäcke, packis och drivis. Det vanligaste problemet över lag i Sverige är tryck från fast istäcke. Idag är det i princip omöjligt att räkna ut krafterna som isen utsätter pålarna för. Man har tagit fram riktlinjer genom tester som utförts på speciella konstruktioner men dessa ger oftast bara schablonmässiga värden.



Figur 3: Äldre isskydd av svartplåt där pålen blivit synlig på grund av inverkan från isens nötning och korrosion.

Enligt de statliga belastningsbestämmelserna (SOU 1961:12) hamnar trycket från ett fast istäcke på mellan 2,5 och 20 ton per meter beroende på is och konstruktionens utseende (Vägverket 1987).

Packis bildas då is går sönder till flak och packas på varandra eller kantställs. Den här typen uppkommer av naturliga skäl främst i arktiska områden i samband med mycket vind och vågor (Nationalencyklopedin 2011). Enligt före detta anläggningsdykaren Pontus Skoglund på Göteborgs Hamn så är hamnar dock en plats där problemet kan förekomma. Packisen här bildas av fartyg som i samband med tilläggning för med sig isen in mot kaj där den sedan packas, lager på lager. Packisen bidrar till kraftiga skador på pålarna då isen ligger och nöter på betongen.

I och med att Göta älv mynnar ut i Göteborgs hamn vilket medför strömt vatten som leder till att stora isflak förs med ut i hamninloppet. Detta kan bli ett problem då isen krossas mot pålar och andra konstruktioner som kan fara illa när påfrestningarna blir för stora. Krafterna beror likt ovan av olika variabler som är svåra att bestämma.

4 Skadezonens utbredning på pålen

Skadorna uppkommer främst på pålarna i framkant av kaj på grund av isens nötningsverkan under vinterhalvåret. Idag är isskydden cirka 2 meter höga, detta mått är en standard som Göteborgs Hamn använder sig av vid pågjutningar i skvalpzonen.

Skadezonen på pålarna i Göteborgs hamn varierar beroende på hur utsatt pålen sitter för driv- och packis. Skvalpet från vågorna bidrar till ökad nötning, dock marginell, på betongen. Värsta skadeorsaken är isen.

4.1 Vattennivåns variation

Efter en mailkonversation med Marcus Flarup på SMHI togs det del av uppgifter med statistik förda över vattenstånden i Göteborgs hamn (mätstation Torshamnen och Ringön) sedan 1887. Enligt dessa uppgifter har vattennivåerna varierat extremt vid några enstaka tillfällen. Den fjärde december 1914 var vattenståndet uppe på + 174 centimeter och den tredje januari 1976 låg det på -108 centimeter vilket resulterar i en total skillnad på 281 centimeter. Värdena är dock extrema och kan bero på olika väderförhållanden så som tillfälligt starka vindar och snabbt förändrade lufttryck.

De normala vattenstånden har under de två senaste åren varierat mellan värden på +/- 50 centimeter med vissa dagars mer extrema värden på närmare +/- 80 centimeter. Under dessa två vintrar har vattennivån stadigt legat under medelvattenståndet. Detta fenomen beror på att vintrarna till största delen utgörs av lågtryck som medför att havsnivån sänks.

4.2 Isens variation

Isens nivå varierar av förklarliga skäl med vattennivån under vinterhalvåret. Under normala förhållanden angriper isen pålen på en nivå strax under medelvattennivån. Efter okulär undersökning (den 11/5-11) av pålarna i Skarvikshamnen iakttogs att isens åverkan på många av pålarna är synlig. Detta ger en god indikation över isens rörelse.

Den nötta ytan varierade i storlek mellan olika mätplatser men en medelhöjd efter 10 stycken mätta pålar visade sig vara ungefär 90 centimeter. Vattenståndet var under tidpunkten enligt SMHI - 18 centimeter mätt utifrån medelvattenståndet. Enligt de mätningar som gjordes visade sig skadans utbredning ligga på en snittnivå som var 11 centimeter över medelvattenståndet och 79 centimeter under.

5 Undervattensgjutning

För att uppnå de krav som ställs på en undervattensgjutning är det viktigt att eftersträva en hög kvalitet i både betong, förarbete och utförande. Metoden för gjutning under vatten ser i stort sett likadan ut idag som för 60 år sedan. Det har utformats nya verktyg och maskiner som förenklar arbetsprocessen men tillvägagångssättet är i grunden detsamma.

Trycket från betongen vid gjutning av exempelvis bropelare eller kajpåle kan liknas vid en punktlast. Oftast är kraften tillräckligt stor för att någon form av bottenförstärkning erfordras för att klara påfrestningarna från betongen. Den vanligaste åtgärden är att gjuta en bottenplatta i betong i vilken kraften kan föras ner till och fördelas på en större area. Ett annat alternativ är att istället för betong använda sig av ett par decimeter grus som läggs ut på ett område om ett par kvadratmeter och därefter planas av. Likt torrgjutningar ovan vatten kan det uppstå temperatursprickor i betongen om skillnaden mellan betongens temperatur och luften eller vattnets temperatur är för stor. Detta motverkas enklast genom att isolera formen eller sänka temperaturen på betongen (Ljungkrantz 1987).

För att vid gjutning undvika att betongens cementpastan blandas med vattnet i formen påbörjas alltid en undervattensgjutning i formens absoluta lågpunkt. Detta gör att betongen, istället för att urlakas, trycker vattnet ovanför sig tills formen blir fylld. Om konstruktionen har ett avslut som inte är direkt skyddat från regn eller stänk från havet är det viktigt att ge avslutningen en viss lutning enligt P. Skoglund, detta för att undvika att vatten och salter blir stående, se kapitel 6.1 steg 5. Gjuthastigheter har inte lika stor betydelse som vid gjutning på land eftersom trycket från vattnet är riktat inåt, detta betyder att formen kan fyllas upp snabbare i vatten jämfört med på land. För att inte bruket skall bli för trögflytande är det viktigt att ha en stighastighet på minst 0,3 m/h och att pauserna vid eventuella betongpåfyllningar inte överstiger 30 minuter. Med iblandade tillsatsmedel som förlänger härdningstiden, så kallade retarders, är det dock möjligt att öka pauserna ytterligare. Om betongen blir för trögflytande kan det resultera i att betongen inte har möjlighet att flyta ut tillräckligt och riskerar då att bilda luftbubblor. Det kan i senare skede också bli svårare att pumpa bruket igenom gjutröret. Risken för luftbubblor kan minimeras med hjälp av vibrering med vibrostavar. Oftast används dock en självkompakterande betong som inte behöver vibreras eftersom det i regel är svåråtkomliga och trånga konstruktioner som gjuts. (Ljungkrantz 1987).

5.1 Gjutning med pump

Enligt P. Skoglund så ska vid gjutning med pump anslutas en slang, med diameter på minst 100 millimeter, till formbotten från utsidan. Via en nippel pumpas betongen från en behållare på land eller dykarpråm. Nippeln skall vara placerad i formens lägsta punkt.

Denna metod med pumpning är det enda alternativ vid gjutning av isskydd som ansluter mot ovanliggande konstruktion, exempelvis kaj.

5.2 Gjutning med tratt

Vid gjutning med tratt förs betongen ner i formen med hjälp av tratten vars pip är höj- och sänkbar för att enkelt kunna följa brukets stigning i formen. Gjutrören är oftast gjorda i plast eller plåt och för att omgivande vatten inte skall blandas med betongen tätas rörskarvarna med gummipackningar. Gjuthastigheten med denna metod kan bestämmas av rörets nedstickningsdjup i betongen, djupare ner i massan minskar utströmningshastigheten och vice versa. Målet är att hålla en så jämn hastighet som möjligt vilket förutsätter att man innan gjutning måttat upp trattens totala längd så att man sedan kan ta reda på betongens djup med hjälp av exempelvis pejling. För att undvika luftbubblor i gjutröret och sedan i formen fylls betongen endast mot trattens ena sida (Ljungkrantz 1987).

5.3 Torrgjutning

I konstruktioner med högt ställda krav på gjutnings- och betongkvalité användas oftast prefabricerade eller förtillverkade betongelement för att säkra hållfastheten som vid gjutning i vatten kan vara mer osäker. Det finns dock ett tredje alternativ för gjutning under vatten där kvalitén kan jämföras med prefabricerade konstruktioner som kallas för torrgjutning. Metoden beskrivs nedan efter information från intervju av P. Skoglund.

En armeringskorg eller liknande najas ihop och sänks sedan ner till önskad plats. Därefter placeras en gjutform runt armeringen och tätas noggrant i anslutningen till bottenplattan. Formen skall vara av sådan längd att toppen hamnar ovanför vattenytan. Vattnet pumpas efter det ut ur formen och man får istället en gjutning som efterliknar momenten hos en gjutning ovan vatten där det inte finns risk för att cementpastan skall sköljas ur och att för höga salthalter skall tränga in i betongen.

6 Montering av befintligt isskydd i stål

Vid reparationer av skadade pålar utförs arbetet enligt riktlinjer från Vägverkets publikation 2002:48 Brounderhåll, Del 3, Kapitel A4, A5 och A6.

Arbetet utförs i 5 steg med minst 3 dykare närvarande varav 1 dykare befinner sig i vattnet.

Provning och besiktning av den skadade pålen görs enligt kapitel A.3.1.1 och A.3.1.2 i Vägverkets publikation 2002:48 Brounderhåll. Enligt dessa kapitel får inte betongen vara nämnvärt urlakad, vittrad eller spjälkad. Kloridhalten får ej vara över 0.3 % och betongen får inte heller vara karbonatiserad ($\text{pH} > 9$). Dessutom måste betongen uppvisa tillräcklig frostbeständighet. Täcksiktet skall vara minst lika med armeringens diameter. Tryckhållfastheten skall även den vara inom ramarna och armeringen skall vara helt fri från pågående korrosion (Skogö 2002).

Uppfylls inte dessa krav så måste en reparation utföras.

Information till monteringssteg 4,5 och 6 har fåtts från intervjuer med P. Skoglund om inte annat anges.

6.1 Monteringsprocess

Steg 1: Avlägsning av skadad betong

Borttagning av skadad betong utförs primärt genom vattenbilning och sekundärt genom mekanisk borttagning. Detta på grund av att man med vattenbilning minskar risken att skada armeringen.

- **Vattenbilning** - Vid vattenbilning krävs ett vattentrycktryck på vattnet som är anpassat till förutsättningarna på plats. För att få till detta krävs en inkalibrering av trycket och flödet på en annan yta med likadana förutsättningar som aktuell påle. Med en korrekt utförd bilning undviks så kallad pipighet, som betyder att ytan blir täckt av små kratrar. Denna pipighet minskar vidfästningen av den nya betongen och godkänns endast på enstaka ytor, max 1 m^2 per 20 m^2 (Skogö 2002).

Spillvatten från bilningen leds bort från ytan och samlas eventuellt upp med hänsyn till miljön. Vattenbilning pågår tills dess att det inte ramlar ut några större mängder ballast från ytan vid knackning med hammare (Skogö 2002).

- **Mekanisk bilning** - Vid mekanisk bilning riskeras alltid att det uppstår sprickbildning i pågjutningsytan och att armeringen bilas av. Detta skall i möjligaste mån undvikas. Bilningen utförs med en lätt handhållen maskin på max 28 kg och med en frekvens på över 22Hz. Mejslarna som används är vassa flatmejslar och eventuell pikmejsel vid tät armering. Korrekt utfört så skall de eventuella bilningskanterna mot ”frisk” betong ligga mellan $60 - 90^\circ$ (Skogö 2002).

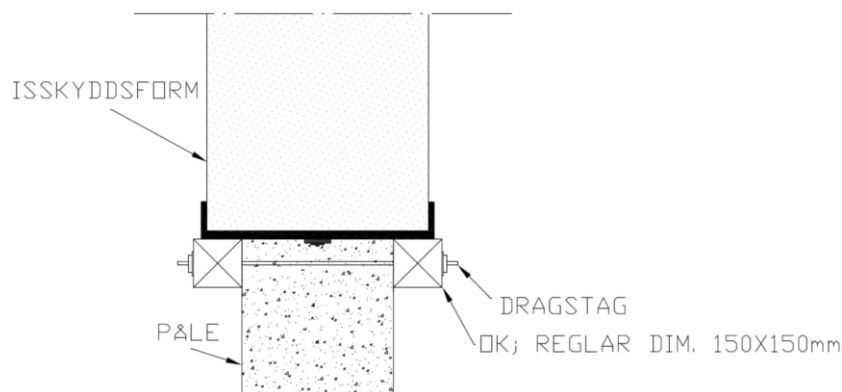
Steg 2: Rengöring

Efter bilning måste ytan rengöras. Allt organiskt material samt bilningsmaterial och cementhud (kalkiga och ljusa rester) måste avlägsnas. Rengöringen görs med högtryckstvätt eller mekaniskt med en skrapa. Högtryckstvättning är den effektivaste metoden men det negativa är att vattnet tränger in i den befintliga betongen, vilket senare kan leda till införsel av klorider. Med skrapning undviker man vatteninträngning men denna metod tar oftast relativt lång tid. Blästring av ytan förekommer också men kräver dock att eventuell kompletterande armering gjuts in i förhand. Efterföljande spolning krävs också vid blästring. Armeringen skall rengöras mekaniskt med stålborste från betongrester och rost (Skogö 2002).

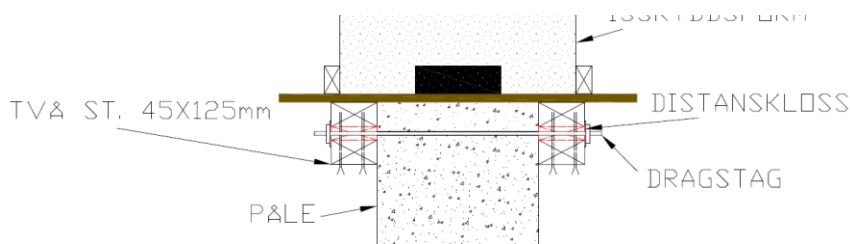
Steg 3: Montering av ok

Efter rengöring börjar arbetet med att montera den form av rostfri plåt som sedan skall innesluta betongen. Man börjar denna monteringsprocess med att montera en ställning, ett så kallat ok, som stålformen kan stå på. Detta ok monteras, vid reparationer i skvalpzon utan ovanliggande konstruktion, cirka 1 meter under havsyntans medelnivå. Vid reparationer då isskydd kommer ansluta mot kaj monteras ok på ett avstånd av minst två gånger isskyddets längd under konstruktionen, detta för att kunna få in efterföljande låsstag ovanifrån.

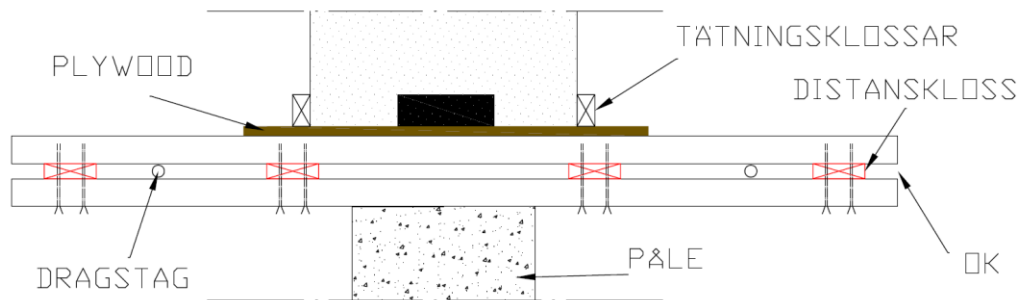
Oket byggs upp av två träreglar i dimension 150x150 millimeter, en på vardera sida om pålen. Reglarna sammanfogas sedan med två stycken dragstag med mutter och bricka. Alternativt kan oket byggas upp av fyra stycken mindre regler i dimension 45x125 millimeter där två regler spikas ihop till en regel med en distanskloss emellan. Dessa två regler monteras sedan med öppningen horisontellt på vardera sida om pålen. Genom öppningarna kan sedan dragstag monteras. Ok visas i figur 4,5 och 6.



Figur 4: Profil av kortsida ok i dimension 150x150 millimeter.



Figur 5: Profil från kortsida av ok i dimension 45x125 millimeter.

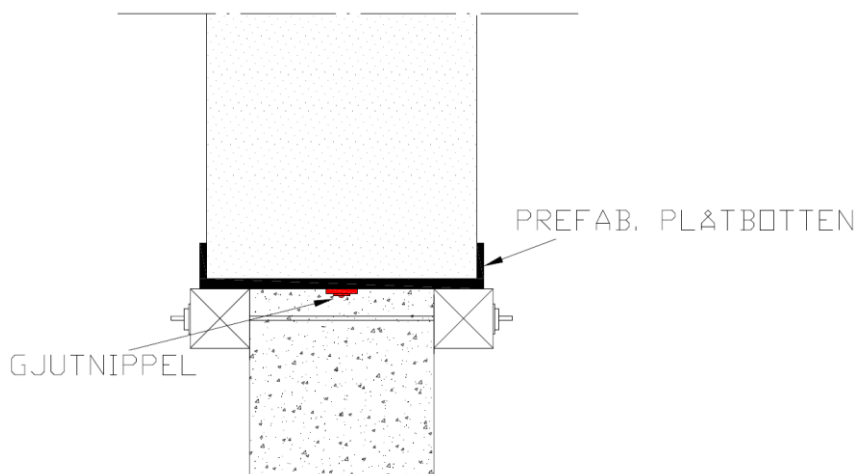


Figur 6: Profil från långsida av ok i dimension 45x125 millimeter.

Oket fungerar som en provisorisk ställning för formbotten och formen. För att säkra upp oket då det kommer att bära en stor tyngd monteras spännband från ok upp till kaj. De färdigbyggda oken kan återanvändas vid fler pålreparationer.

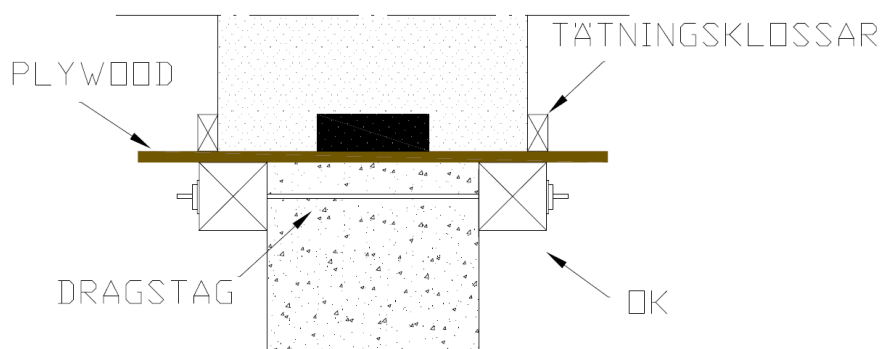
Steg 4: Montering av formbotten och formsvep

Isskyddets montering börjar med formbotten. Denna består av en tvådelad, prefabricerad stålkonstruktion med gångjärn som är konstruerad för ett arbetssparande montage. Botten har ett färdigt uttag som varierar med pålens utformning och storlek och denna kan därför enkelt föras på pålen. Formbotten är försedd med en upphöjd kant runt om i vilken formsvepet sedan kan placeras i. Trycket från betongen kommer då täta mellanrummet mellan form och botten. I formbotten monteras en nippel för gjutningen med pump underifrån, se figur 7.



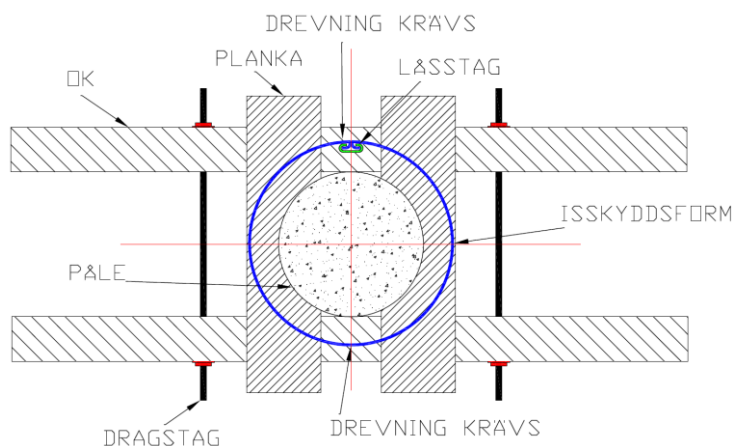
Figur 7: Prefabricerad stålbottom samt placering av gjutnippel.

Alternativt kan formbotten byggas upp av en plywoodskiva i två delar där urtag för pålen görs. Dessa två halvor spikas sedan fast i oket. Formen placeras därefter på plywooden och säkras med tillsågade regler i nederkant, se figur 8.



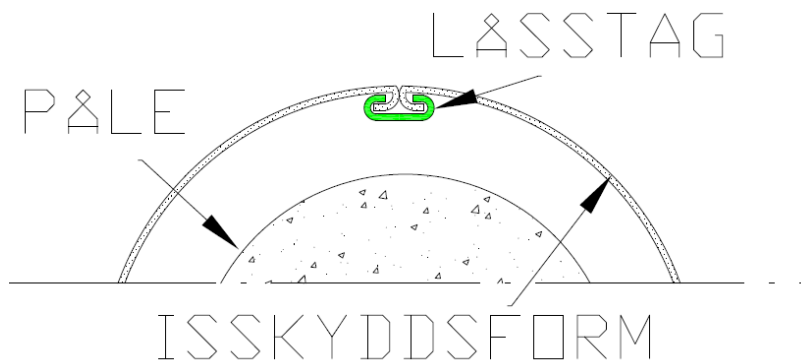
Figur 8: Alternativ formbotten av plywood.

Ett tredje alternativ kan användas vid runda pålar där två plankor formsågas med en halvcirkel i varje och spikas på oket på vardera sida om pålen. Drevning krävs i skarven mellan plankorna, vanligtvis med diverse trasor, se figur 9.



Figur 9: Alternativ formbotten av plankor.

Formen för isskyddet består av en rundvalsad, cirka 1-2 millimeter tjock skiva i rostfritt stål med en höjd på cirka 2 meter beroende på skadans storlek. Denna form viks runt pålen och placeras innanför stålbottnen alternativt på plywoodbotten. Den prefabricerade skarven på formen kan se ut på lite olika sätt. Det vanligaste och smidigaste sättet är dock att vardera sida på skarven är böjda i en halvmåneform inåt mitten, ett stag med spegelvänd form kan då slås in ovanifrån, se figur 10.

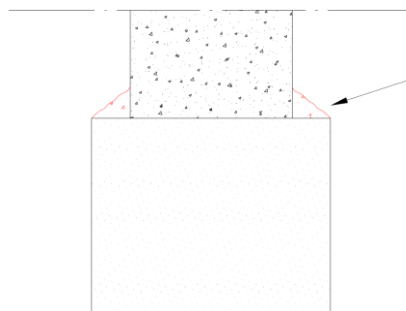


Figur 10: Vy ifrån ovan av låsstag.

Denna metod kräver att oket monteras ytterligare någon meter ner om formen avser att vara mot kaj. Detta för att man skall komma åt att slå in staget. I slutskedet förs konstruktionen upp mot kaj och säkras med spännband. För att centrera pålen i mitten av formen borrar hål i överkant av stålformen där sedan gängstavar förs in från tre eller fyra motstående håll. Med mutter och bricka kan då gängstavarna skruvas till önskad längd så att pålen centreras. Denna metod för centrering används dock inte då formen trycks upp mot kaj på grund av att den då hålls fast av spännbanden.

Steg 5: Gjutning

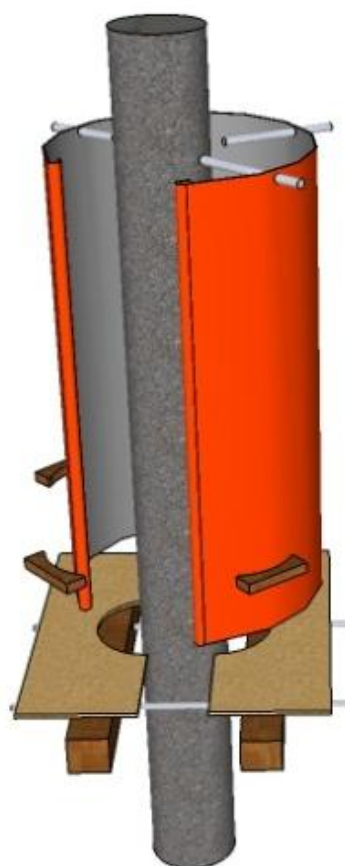
Gjutningen görs vanligtvis med pump underifrån via en nippel i formbotten. Detta är den bästa metoden då betongen tränger undan vattnet i den vattenfyllda formen utan att blandas om och urlakas. Alternativt kan betongen tillföras genom en slang som förs ner ovanifrån ner till botten. Betongen pumpas in i lagom hastighet, för att undvika omblandning och frigörelse av cementen, fram tills att betongen tränger ut på ovansidan. Vid form mot ovanliggande konstruktion tätas formen automatiskt av betongen som tränger fram. Vid gjutning av form längre ner så skall betongen på toppen av formen ges en lutning för att undvika vattensamlingar, se figur 11.



Figur 11: Avfasning av betong mot pelare görs vid behov.

Betongen som skall användas är självkompakterande reparationsbetong C35/45 med ett vct på 0.40. Stenstorleken på ballasten får max vara halva pågjutningstjockleken. Täcksikt till armering skall vara minst 50 millimeter vid oarmerad pågjutning och 70 millimeter vid armerad lagning (Skogö 2002).

För monteringsillustration och färdigmonterat resultat se figur 12 samt bilaga 1 och bilaga 2.



Figur 12: Illustration av monteringsprocessen.

6.2 Utvärdering av dagens monteringsanvisningar

Ett isskydd kostar, exklusive projekteringskostnader, mellan 25 000 och 30 000 kronor, varav endast cirka 10 -15 % är materialkostnader. Detta innebär att merparten av den totala kostnaden för ett isskydd är arbetskostnader. Ett isskydd tar cirka 4 timmar effektiv tid att montera. För att minska kostnaderna för ett isskydd är det viktigt att effektivisera monteringsprocessen i första hand, och se till materialet i andra hand. För att skära ner på tiden i vattnet finns det då möjlighet att med utformningen av det nya skyddet rita det på ett sätt så att så mycket som möjligt av monteringen kan göras på land. Vid eventuell armering av pågjutningen skulle det underlätta om det finnas en möjlighet att integrera den i formen.

7 Nytt isskydd i plast

Dagens isskydd görs på en höjd av 2 meter, 1 meter på vardera sida om medelvattennivån. Enligt Niclas Kristensson, konstruktör på Tyréns, som varit med en längre tid i beräkningarna på pålar och isskydd var längden 2 meter på isskyddet i stål ett mått som levt kvar sedan länge och beror på att vattenstånden är oberäkneliga och att risken finns för att vattnet skall sjunka eller höjas till extremvärden.

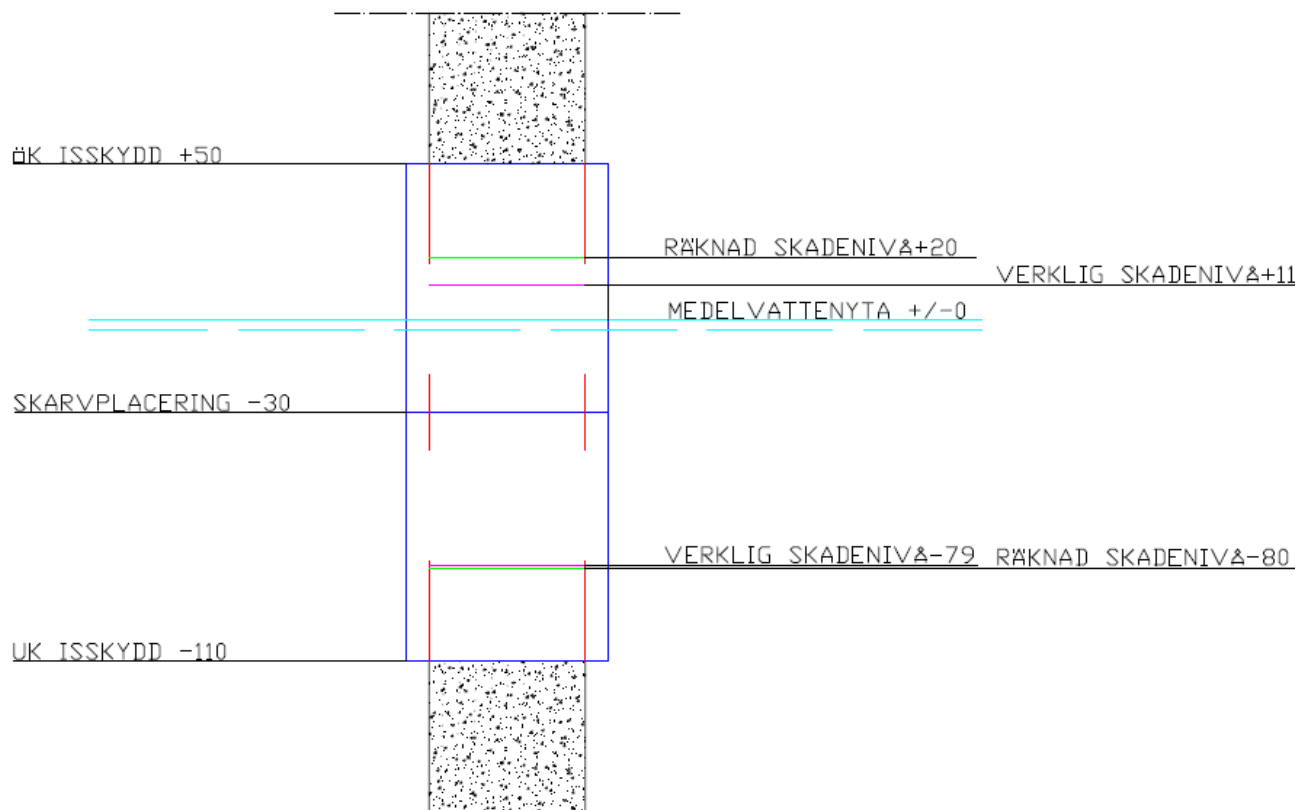
Den okulära besiktningen av pålarna i Skarvikshamnen enligt kapitel 4.2 visade dock på en utbredd skadezon på cirka 90 centimeter. Med dessa mätvärden som bakgrund är det troligtvis möjligt att kunna korta ner höjden på det nya isskyddet. En sådan åtgärd kommer att få till fördel att vikten minskas, vilket ger en enklare hantering. Enligt information från Got Design så är det till stor fördel ekonomiskt att bygga upp en eventuell form i mindre sektioner, mindre symmetriska sektioner ger mindre och färre formgjutningsverktyg, se kapitel 7.3.2.

Med hänsyn till skadezonen och en extra säkerhetsmarginal togs beslutet att formen skulle byggas upp av två sektioner med höjden 80 centimeter vardera. Detta ger en total höjd på 160 centimeter vilket bedöms som en rimlig höjd för att kunna skydda pålen, om man tar extra hänsyn till placeringen av skyddet relativt skadezonen.

7.1 Isskyddets placering

Enligt den okulära besiktningen i kapitel 4.2 så ligger skadezonen i snitt på en nivå av +11 centimeter över medelvattennivån och -79 centimeter under medelvattennivån, totala höjden är då i snitt 90 centimeter. Här adderas en säkerhetsmarginal på 10 centimeter. Skadezonen är alltså beräknat att vara 100 centimeter hög varav 20 centimeter över medelvattenytan och 80 centimeter under medelvattenytan.

Isskyddet är uppbyggt av två sektioner på 80 centimeter vardera, den totala längden blir då 160 centimeter vilket innebär en extra säkerhetsmarginal på 60 centimeter. Denna marginal fördelas jämt på både överkant och underkant av isskydd. Det innebär att isskyddet placeras med skarven på en nivå av - 30 centimeter relativt medelnivån. Överkant isskydd hamnar på en nivå av + 50 centimeter och underkant isskydd hamnar på en nivå av - 110 centimeter. Totala säkerhetsmarginalen blir då i överkant 39 centimeter och i underkant 31 centimeter, se figur 13.



Figur 13: Placering av isskydd med hänsyn till skadezonen.

7.2 Utformning av isskydd

Innan utformningen började listades det villkor som skyddet skall uppfylla:

- Så mycket som möjligt skall kunna göras på land.
- Arbetet i vattnet skall gå så snabbt som möjligt.
- Formen skall vara symmetrisk så att endast en gjutform behöver användas vid framställning.
- Med hänsyn till skadezonen och kostnaden skall skyddet byggas upp av två sektioner om 80 centimeter.

7.2.1 Designprocessen

Version 1

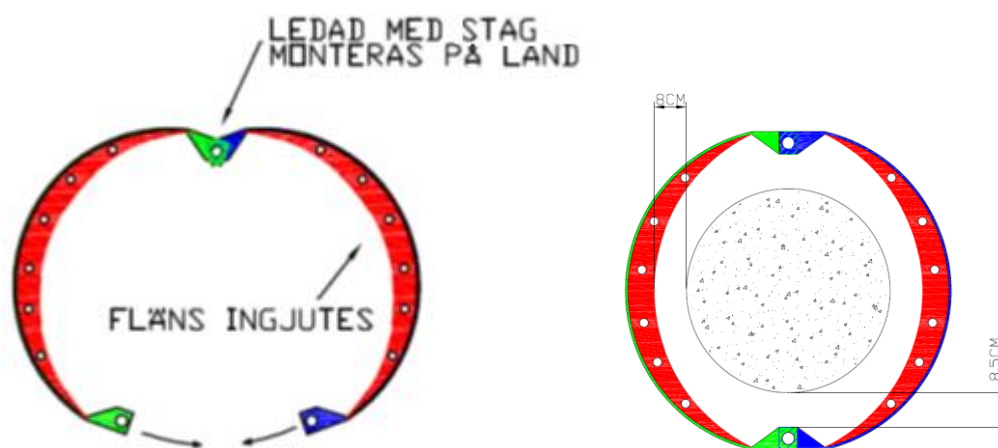
Skarven på version 1 utformades med utgång från dagens isskydd i stål där den lodräta skarven består av två motvända halvmåneformar i vilket ett stag med spegelvänd form slås ner och låser formen, se figur 10. Enligt P. Skoglund var skarven ett smidigt och tidsbesparande moment och möjligheten att tillverka en motsvarande i plast utreddes. Utformningen begränsades dock hårt av Got Design som inte hade möjlighet att gjuta detaljer som böjer in över sig själva. Detta för att plasten lyfts ut ur formen och en sådan halvmåneform skulle då haka i gjutformen, detta enligt information från Stefan Sievers, personalansvarig på Got Design.

Version 2

I version 2 utformades isskyddet enligt gångjärnsprincipen med fingerskarvar som med ett nedstucket rundstag fungerade som ett gångjärn. För att få symmetri och underlätta monteringen gjordes sektionerna i två sektioner med samma typ av fingerskarv på båda sidor. Sektionerna gjordes i två exakt likadana sektionsdelar och detta resulterade i att halvorna kan gjutas i samma gjutform. Skarvens ena sida monteras på land och underlättar därmed installationen i vatten då isskyddet viks runt pålen och låses med stag.

För extra stadga och stabilitet ledes det till hålade avstyvningsflänsar horisontellt i formens halvor. Detta hade också till uppgift att öka vidhäftningen till betongen, se figur 14.

Problemet med isskyddsformen var utformningen av gångjärnen. Den fyrkantiga formen på dessa medgav att formen inte gick att öppna då hörnet på ena sidan tog i på baksidan av det andra.



Figur 14: Principritning av isskydd version 2, bild till vänster är ej reell.

Version 3

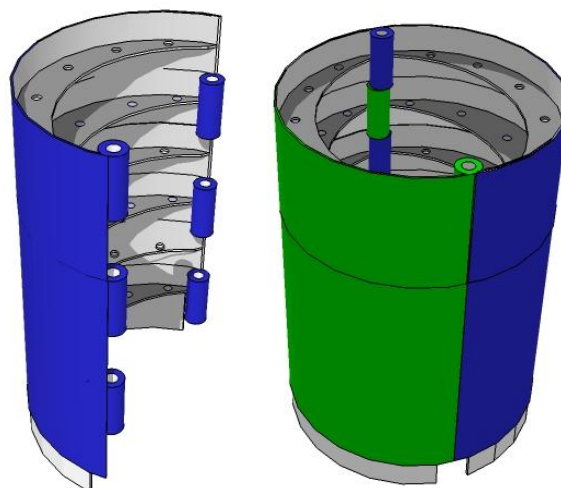
Version 3 är ett enkelt utformat isskydd utan komplicerade detaljer. Sektionsdelarna är identiska, se bilaga 3, vilket underlättar vid produktionsprocessen, samtidigt som kostnaden minskas då enbart en gjutform behövs.

De cirkulära sektionerna är uppdelade i två delar som med hjälp av gångjärnsprincipen kopplas ihop till en enhet. Skarvarna är gjorda som en fingerskarv där gångjärnen är rundgjutna och löper om vartannat. Vid ihopkoppling slås ett plaststag ner i hålen vilket ger en möjlighet att öppna och stänga isskyddet som en hel enhet, vilket är till fördel vid montering. För låsning upprepas tidigare moment i motstående skarv, se figur 15.

För erhålla motsvarande stålets styvhet används efter information från S. Sievers en godstjocklek om 6 millimeter.

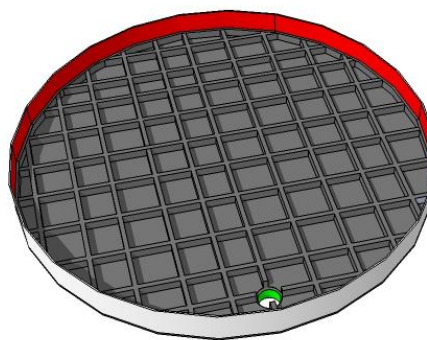
För att nå önskad längd på 160 centimeter krävs möjligheten att koppla ihop flera sektioner vilket görs med hjälp av en skarvfläns som är placerad på insida av varje sektionsdels underkant. Flänsen vilar på den undre sektionens övre avstyvningsfläns. Vid stöd mot bottenplattan sågas flänsen bort.

Formen görs i längder om 80 centimeter med tanke på isens skadezonsutbredning (se kapitel 7). För att minska riskerna med att is greppar tag i formen görs utsidan helt slät. Avstyvningar placeras på insidan av varje sektionsdel för ytterligare stadga och stabilitet. Flänsarna har en tjocklek på 1 centimeter och är placerade horisontellt med 20 centimeters mellanrum. För extra vidhäftning förses flänsarna med 10 stycken hål med en diameter på 2 centimeter.



Figur 15: Låsning görs med hjälp av fingerskarv och stag. De synliga avstyvningarna är till för stabilitet och vidhäftning.

Bottenplattan är gjord i en enhet och utformad på så vis att det finns möjlighet att anpassa den till de olika pålformerna som finns i Göteborgs hamn. Anpassningen görs för hand, fördelaktningen med hjälp av färdigmåttad mall. Kanten på bottenplattan är förhöjd med 10 centimeter för att enkelt kunna passas in i formen mot botten. Detta bidrar också till att formen blir tät då trycket från betongen tvingar formen ut mot kanten. För att klara trycket från betongen och öka styvheten förses bottenplattan med en mängd korslagda avstyvningar. En gjutnippel placeras i botten ytterkant för enkel påkoppling av pumpslang, se figur 16.



Figur 16: Bottenplatta, försedd med avstyvningar och gjutnippel.

7.3 Isskyddsprototyp

7.3.1 Materialteori Polyamid

Prototypen av isskydd version 3 kommer att tas fram i ett plastmaterial som kallas polyamid 6, PA 6. Materialvalet gjordes av Got Design. Detta material valdes på grund av dess egenskaper att stå emot långvarig och påfrestande nötning, materialet är även segt och har relativt bra utmattningshållfasthet. PA 6 är också motståndskraftig mot oorganiska föreningar, oljor och diverse lösningsmedel. För att inte solen skall bryta ner plasten skall skyddet göras av en svartfärgad PA 6 plast, detta ger ett bättre skydd mot UV strålning, (Fluorcarbon plast AB). Dessa egenskaper är ett krav då skyddet kommer att befinna sig i en så pass påfrestande miljö.

7.3.2 Prototypframtagning

Efter intervju med Stefan Sieverts och Lars-Olof Axelsson, Prototyp och produktionsansvarig, på Got Design så kom det fram att prototypen skulle tas fram genom en metod som kallas vakuumformning, detta är en metod som går snabbt och är relativt billig jämfört med att formspruta ett riktigt skydd. Genom att sänka ner en plastskiva över ett förtillverkat verktyg formas plasten efter verktyget. Vid tillverkning av isskyddet kommer verktyget då ha en form av en cylinder. Detaljerna som avstyvningarna och gångjärnen får limmas på i efterhand.

Tillverkningsprocessen går till enligt nedan och figur 17 (HS Vakuumplast AB):

1. Skivan av plast värms upp och vidgas med tryckluft.
2. Vakuum pressar plastskivan så den ansluter tätt emot verktyget.
3. Verktyget plockas loss och den färdiga plastformen kyls ner.
4. Plastformen är nu en kopia av verktyget och detaljer kan limmas på.



Figur17: Illustration över vakuumformningens principer.

7.3.3 Ekonomi

Kostnaden för en prototyp framtagen med vakuumformgivningsmetoden blir cirka 83 500 kronor. Priset är inklusive tillverkning av ett vakuumformningsverktyg för formen och ett annat vakuumformningsverktyg för detaljerna, se bilaga 4 för offert. Kostnaden för plast är dock ej inräknad. Priset för PA 6 plast är cirka 25 kronor per kilo (Franck 2011).

Vikten på ett komplett isskydd tillverkad i PA 6 plast ligger på cirka 25 kilo, detta betyder att materialkostnaden för ett komplett isskydd i två sektioner kommer att bli cirka 500 kronor vid en eventuell serietillverkning med formsprutning. Dock är varken kostnaden för verktyget till formsprutningen eller diverse omkostnader inräknade då det ej fanns prisuppgifter för detta. Verktygets pris är dock en engångskostnad och kommer att sparas ihop i längden. Materialkostnaden för stålet i dagens isskydd är cirka 5000 kronor. Detta visar på en tydlig reduktion av materialkostnaden.

7.4 Prototyptillverkning

På grund av bristande tid och ekonomi hade inte Göteborgs Hamn möjlighet till att låta Got Design ta fram en första prototyp enligt vakuumformgivningsmetoden. För att tidigt finna fel och brister i isskyddet gjordes på egen hand en modell av skyddet. Modellen gjordes av rör i polyetenplast, PE, och skivor av plexiglas. Rören användes till att skapa formen på skyddet samt till gångjärnsskarven. Plexiglasen användes som avstyvningar för att bibehålla rörets form och ge extra stadga vid gjutning, formbotten tillverkades även den i plexiglas, se figur 18 och figur 19.

Prototypen tillverkades enligt bifogade ritningar i bilaga 3. Vid färdigställandet visades snabbt brister hos skyddet där rörets tjocklek gjorde att formen blev svåröppnad. Detta var dock en konstruktionsmiss vid prototyptillverkningen och kommer ej att orsaka problem i ett senare skede eftersom godset och gångjärnen gjuts in i varandra. De vertikala skarvarna glappade en del när de var ihopsatta och detta kan i värsta fall leda till att vatten tränger in och urlakar betongen. Dock kan detta förklaras med att formen ej tillverkats med millimeterprecision och problemet bör elimineras vid en mer exakt tillverkning.

Botten samt de avstyvningar som användes för extra stabilitet tillverkades i huvudsak av plexiglas. Därefter försågs plattan med en förhöjd kant av samma material som formen. Denna kant har funktionen att passa in isskyddet mot botten samt att ge extra täthet vid gjutning.

Fördelarna med designen är dess släta utsida och få detaljer som kommer göra framställningen mer ekonomisk enligt S. Sievers. Densiteten hos stål är ungefär sju gånger så hög som hos plasten vilket ger en kraftig viktminskning, (Stålbyggnadsinstitutet 2002). Att formen tillverkas i halvor och i fler, kortare sektioner bidrar också till en mer lätthanterlig montering. Skarvningsprincipen mellan sektionerna visade sig fungera i princip felfritt. Avstyvningarna inuti varje sektionsdel gav ökad stabilitet och stadga i jämförelse med en halva utan avstyvningar.



Figur 18: Prototyp i två sektioner. Fingerskarv och avstyvningsflänsar är synliga för låsning och stabilitet.



Figur 19: Prototyp i två sektioner sedd från baksidan.

7.4.1 Hur vi tror prototypen fungerar

Prototypen som tillverkades gjordes huvudsakligen i polyetenplast, PE, och plexiglas vilket inte var det rekommenderade materialvalet polyamid 6 (PA 6) för isskyddet. Det var därför inte möjligt att utvärdera hållfastheten hos isskyddet. Prototypen gjordes därmed endast med syftet att undersöka och utvärdera monteringsprocessen och uppenbara konstruktionsfel. Prototypen visade vid montering på lovande möjligheter till en enkel montering och avstyvningarna gav önskad effekt på stabiliteten.

I jämförelse med stål är skyddet i plast relativt lätt och har en högre flytförmåga, skyddet är dessutom tvådelat och detta gör installationen mer lätthanterlig och därmed snabbare och kostnadseffektivare. Dock finns det ett osäkerhetsmoment med att styvheten hos plasten kanske inte är tillräcklig för att hålla ihop formen vid gjutning utan att glipor uppstår. Vid dagens gjutningar används spännband för att hålla ihop formen vilket också skulle kunna vara ett alternativ för att lösa problemet. Att plasten har för god flytförmåga och kanske blir svår att tvinga ner under vattenytan kan bli ett komplicerat moment i monteringen.

7.5 Monteringsprocess av nytt isskydd

Monteringsprocessen vid plastskyddet går i stora drag till som vid montering av det gamla skyddet. Skillnaderna finns vid montering av plastformen.

7.5.1 Monteringsprocess

Steg 1: Avlägsning av skadad betong

Avlägsning av skadad betong sker genom vattenbilning alternativt mekanisk bilning. Se kapitel 6.1 steg 1.

Steg 2: Rengöring

Pålen rengörs enligt kapitel 6.1 steg 2.

Steg 3: Montering av ok

Montering av ok sker enligt kapitel 6.1 steg 3. Dock med skillnaden att oket monteras med ett avstånd av 110 centimeter under medelvattenytan om det ej finns ovanliggande konstruktion. Detta ger formen placering enligt kapitel 7.1.

Steg 4: Montering av form

Förberedelserna på land börjar med att formbotten kapas i två halvor och ett uttag görs i centrum med utgång från en mall. Formen på uttaget beror på pålen. Gjutnippel monteras på ena halvan. Två sektionsdelar sammanfogas till en sektion och två sektioner av isskyddet monteras ihop med ett rundstag på ena sidan. Rundstaget säkras i längsled genom att en skruv fästs genom det nederst gångjärnet på den nedersta sektionen. För att säkra upp de ovanliggande sektionerna på staget tas ett hål genom staget strax ovan det översta gångjärnet där en sprint förs in.

Formbottens båda halvor placeras på oket i vattnet, gjutnippeln skall vara tillgänglig underifrån. Isskyddsformen tas ner i vattnet i ett stycke, eventuellt med hjälp av tyngder, och viks upp innan den träs runt pålen. Formen placeras innanför de upphöjda kanterna på formbotten. Sektionerna låses med ett rundstag som slås genom gångjärnen ner till botten. Formen hålls om nödvändigt nere med hjälp av tyngder. Formen placeras på den nivå som beskrivs i kapitel 7.1, om inte oket placerats rätt

från början. Centrering krävs om isskydd ej ansluter mot kaj, detta sker enligt kapitel 6.1 steg 4.

Steg 5: Gjutning

Pumpning av betong sker på samma sätt som vid det gamla skyddet, se kapitel 6.1 steg 5.

7.6 Provgjutning

Syftet med gjutningen var att ta reda på hur monteringen fungerade samt att få reda på eventuella uppenbara konstruktionsfel.

Isskyddsprototypen monterades inför provgjutningen kring en 400 millimeters träpåle. Oket tillverkades enligt samma principer som vid en riktig gjutning av isskydd. Två regler i dimension 80x200 millimeter sammanfogade med två stycken dragstag runt pålen. Formen säkrades upp med tre stycken spännband som placerades som en extra säkerhet runt flänsen på botten, skarven mellan sektionerna och under centreringsstängerna i toppen, se figur 20. Spännbanden var endast en extra säkerhet på grund av det saknade vattentrycket. Då träpålen inte var helt cirkulär tätades hålrummen vid botten med fogsium.

Gjutningen utfördes med slang ovanifrån då utrymme saknades för att pumpa betongen via gjutnippel underifrån. Cirka 0.25 m³ betong av typen C35/45 08 S3 med ett vct på 0,4 användes. Betongen fördelades jämt i formen med en vibrostav under hela gjutningen.



Figur 20: Färdigmonterat isskydd på ok.

7.6.1 Resultat från prototypgjutning

Vid gjutning visade det sig att det fanns brister i de lodräta skarvarna. Trycket från betongen gjorde att isskyddet utvidgades tillräckligt för att ett gångjärn skulle lossna i infästningen, se figur 21. Trots att materialegenskaperna hos PE plasten inte stämde överens med PA 6 visade detta på ett uppenbart konstruktionsfel med att gångjärnen gjorts för höga och måste minskas. På de områden där inte spännband placerats trycktes isskyddet ut på grund av betongen, vilket medförde otätheter i skarvarna se figur 22 och 23.



Figur 21: På grund av trycket lossnade ett gångjärn i infästningen.



Figur 22: Skarvarna glipade i samband med gjutning.



Figur 23: Formen buktar ut mellan spännbanden.

8 Diskussion

Utformningen av det nya isskyddet resulterade efter samråd med besiktningspersonal, tidigare anläggningsdykare samt blivande designingenjörer, i ett utseende som inte hade utstickande detaljer och gav en enkel monteringsprocess. Ritningarna speglade i mycket dykarnas behov där den största problematiken låg i att hantera monteringen av isskyddet under vatten. Detaljerna gjordes därför med avsikt att så mycket som möjligt av monteringen skulle ske på land. Under vatten krävs enbart låsning och säkring av isskyddet.

Den version av det nya isskyddet som togs fram var ett steg i rätt riktning för utvecklingen av ett nytt isskydd. De resultat som visat sig är en bra grund för att kunna ta beslut i om hur en eventuell vidareutveckling ska se ut. Den version som togs fram, se bilaga 3, i samarbete och konsultation med kunniga personer inom området hade både för- och nackdelar.

Exempel på positiva egenskaper hos plastskyddet är att en stor viktninskning har skett vilket kommer att förenkla hantering. Utformningen gjorde att merparten av monteringen kan ske på land vilket kommer att förkorta tiden i vattnet för dykaren. På grund av att isskyddet tillverkas i två sektioner som i sin tur är uppbyggda av två symmetriska delar, bidrar detta till ett reducerat pris för tillverkningskostnaderna då endast ett formverktyg för tillverkningen behöver användas. Dock är inte botten inräknad då den behöver ett eget verktyg. Armering är ofta ett krav vid pågjutningar och detta är ett av momenten som tar absolut mest tid i monteringen. Det är viktigt att armeringen i dagens isskydd inte har någon kontakt med stålet i formen eftersom risken för att få korrosion i detta fall nästan är oundviklig. Fördelen med plast att den inte korroderar och det finns då möjlighet att använda avstyvningarna i det nya skyddet som distanser för armering.

De delar som måste utvecklas på skyddet är först och främst den fria höjden mellan gångjärnen som antagligen måste kortas ner för att undvika de glipor som uppkom i det området vid provgjutningen. Om det är nödvändigt att använda sig av lodräta avstyvningar för att undvika utbuktning bör undersökas vidare.

Det stora osäkerhetsmomentet med det isskydd som utvecklats är att skarven mellan sektionerna ligger i mitt i skadezonen. Denna detalj måste undersökas då det inte är helt klarlagt om skarven klarar påfrestningarna från isen. Förhoppningsvis blir skarven mellan sektionsdelarna i prototypen tillräckligt stark efter gjutning för att kunna stå emot påfrestningarna, men detta måste undersökas med en provgjutning under reella förhållanden. En eventuell lösning skulle kunna vara att göra isskyddet i ett stycke och på så sätt undvika skarvarna helt. Dock förloras den ekonomiska fördelen i och med att det är billigare att tillverka skyddet i mindre delar.

8.1 Hur man bör gå vidare

Nästa steg i den här utvecklingen är att revidera ritningarna med tanke på gångjärnen och eventuellt tillföra lodräta avstyvningar. Efter de reviderade ritningarna borde det tillverkas en ny prototyp i PA 6 plast med vakuumformgivningsmetoden. Eftersom denna metod tillåter en tillverkning med korrekt material och en större tillverkningsprecision, finns det möjlighet att göra en ny utvärdering av designen. En provgjutning med denna prototyp skulle kunna göras runt en påle i vattnet. Monteringen borde göras efter monteringsanvisningarna i kapitel 7.5. Detta innebär att då monteringen görs av dykare kan en utvärdering av monteringsprocessen göras.

Fokus med denna provgjutning bör ligga på att kontrollera den fria höjden på gångjärnen och att styvheten hos materialet är tillräcklig för att undvika utbuktningarna. Isens nötning på skarven mellan sektionerna bör kontrolleras.

9 Avslutning

I detta arbete har vi kommit en bra bit på vägen mot ett nytt isskydd och det är utifrån våra resultat som en vidare utveckling kan ske.

Det är viktigt att få möjlighet att utvärdera isskyddets egenskaper i skarpt läge där det får stå emot de förhållanden som faktiskt innebär stora påfrestningar från nötning och solljus. En andra prototyp som tillverkas mer exakt och efter de materialförutsättningar som är bestämda skulle svara på dessa frågor om hållfasthet och hur isskyddet beter sig i vatten. För att öka lönsamheten vid tillverkning kan det vara viktigt att utnyttja konkurrensen och kontakta olika plastföretag. Det bidrar då till en lägre prototypkostnad.

Priset för ett enskilt serietillverkat isskydd är svårbestämt och där mycket pengar ligger i formverktyget. Detta skapar en förutsättning att involvera fler hamnar och brobyggen som med fördel skulle kunna se det som ett framtida alternativ till isskydd i stål. Med fler aktörer skulle styckpriset för isskydd visa på en stor ekonomisk vinning gentemot dagens isskydd.

10 Referenser

Almgren, T, et al. (2009) *Betong och armeringsteknik*. Borås/Göteborg: Sveriges Byggindustrier

Brännström, A. (1987) Miljö och säkerhet på arbetsplatsen. I *Betonghandboken, Arbetsutförande*, red. Ljungkrantz,C, Möller,G, Petersson,N, ss. 807-819. AB Svensk Byggtjänst

Emborg, M, Jonasson,J-E, Knutsson,S. (2007) *Långtidsstabilitet till följd av frysning och tining av betong och bentonit vid förvaring av låg- och medelaktivt kärnavfall i SFR 1*. Luleå: (SKB Rapport R-07-60)

Extern sulfatattack i marin miljö. (Internt dokument Göteborgs Hamn)

Farny, J. (1996) Ettringite and Concrete Durability. *Concrete Technology Today*, vol. 17, nr 3, ss. 7-8.

Franck, G, Zhiyong, C. (2011) *Isskydd*. Göteborg

Johansson, J. (2006) *Vattnets påverkan på betongdammar*. Alnarp: SLU (Examensarbete inom institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, Landskapsingenjörsprogrammet)

Ljungkrantz, C, Westergren,P. (1987) Undervattensgjutning. I *Betonghandboken, Arbetsutförande*, redigerad av Ljungkrantz, C, Möller, G, Petersson, N, ss. 627-638. AB Svensk Byggtjänst

Rombén,L (1980) Kemiskt angrepp. I *Betonghandbok material*, red. Möller, G, Peterssons, N, Samuelsson,P, ss.468-492. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Rombén, L (1997) Kemiskt angrepp. I *Betonghandbok material*, red. Ljungkrantz, C, Möller, G, Peterssons, N, ss.809-847. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Skogö, I, Schmidt, N-I. (2002) *Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för underhåll av broar: Brounderhåll 2002*. Borlänge: VV. (VV publikation: 2002:48)).

Stålbyggnadsinstitutet (2002) *Dimensionering av konstruktioner i rostfritt stål: Tredje upplagan*. Stockholm: SBI. (ISBN 2-87997-209-4).

Ullberg, M. (2006) *Elektrokemiska aspekter på korrosion i svenska reaktorinneslutningar*. Stockholm: (SKI Rapport 2007:13)

Vägverket. (1987) *Istryck mot bropelare*. Publikation: 1987:43

Elektroniska referenser

Carlsson,B. (2007) *Våtkorrosion i tekniska vattensystem*. <http://www.qtf.se>.(2011-04-04)

Göteborgs Hamn AB (2011) *VTI Göteborgs Hamn*. [YouTube]. <http://www.youtube.com>. (2011-02-25).

Göteborgs Hamn *Snabbfakta Göteborgs Hamn*. <http://www.portgot.se> (22 Feb. 2011)
PA, <http://www.fluorcarbon.se> (2011-04-26)

Packis (2011). I Nationalencyklopedin. <http://www.ne.se> (2011-04-10)

Vakuumformning och polyuretanskum <http://www.hsvakuumplast.com> (2011-05-05)

Muntliga referenser

Lars-Olof Axelsson, Got Design.

Marcus Flarup SMHI.

Niclas Kristensson, Tyréns.

Pontus Skoglund, Göteborgs Hamn.

Stefan Sievers, Got Design.

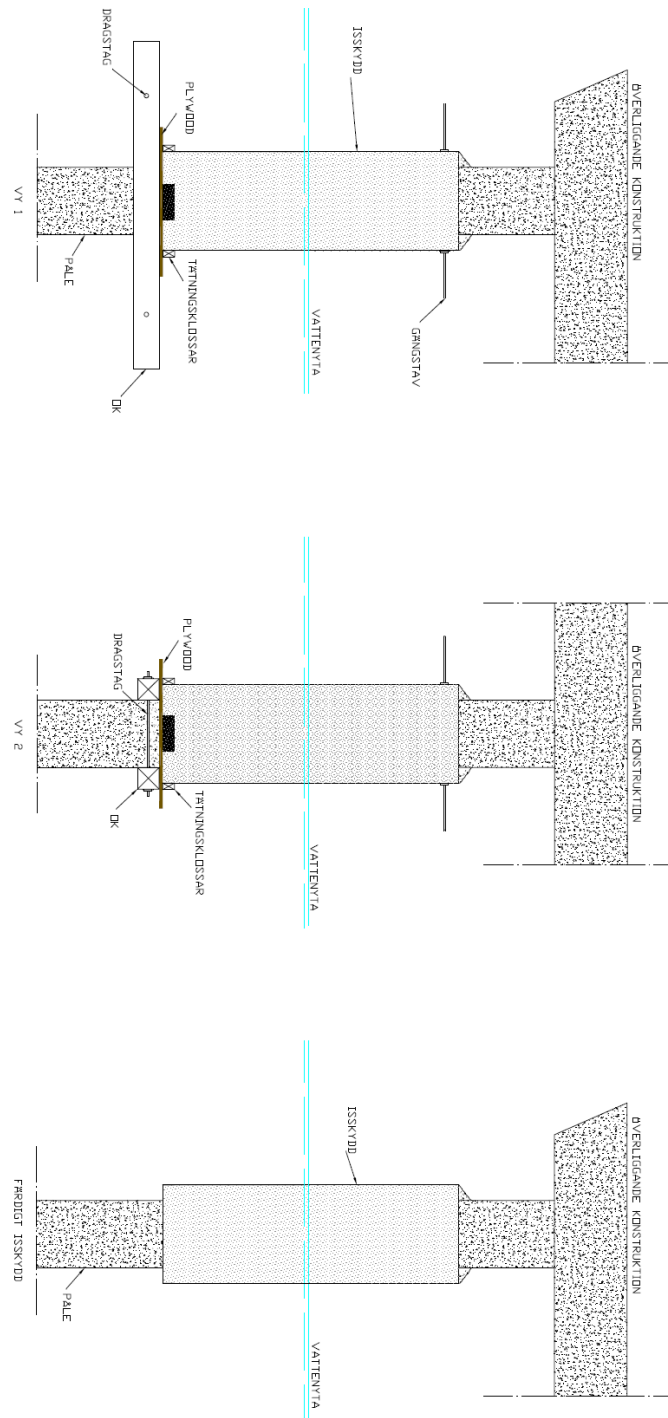
Stig Östfjord, Göteborgs Hamn.

Figurförteckning

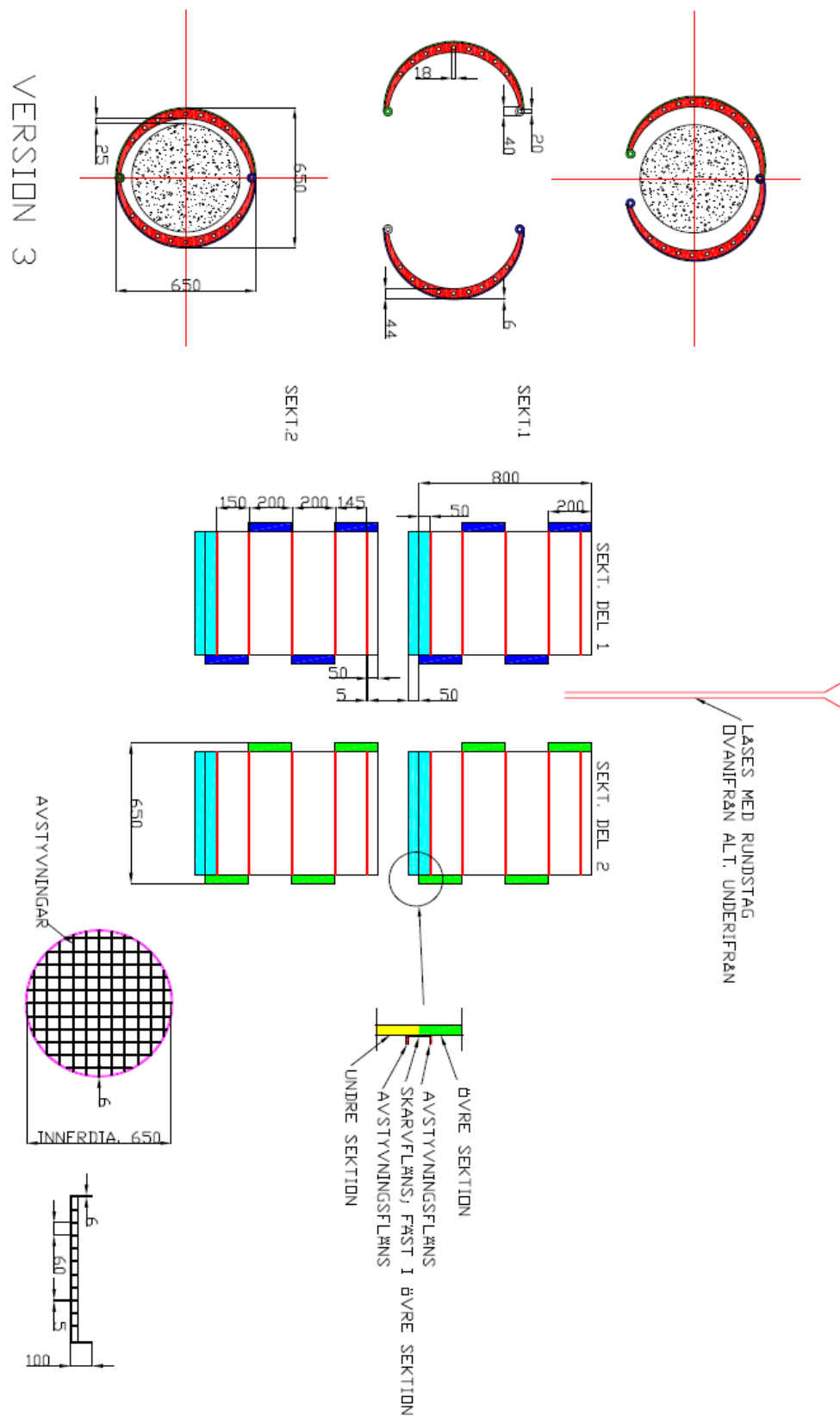
<i>Figur 1: Befintligt isskydd i rostfritt stål.</i>	<i>2</i>
<i>Figur 2: Skadad påle där tidigare isskydd i svartplåt vittrat sönder.</i>	<i>4</i>
<i>Figur 3: Äldre isskydd av svartplåt där pålen blivit synlig på grund av inverkan från isens nötning och korrosion.</i>	<i>6</i>
<i>Figur 4: Profil av kortsida ok i dimension 150x150 millimeter.</i>	<i>12</i>
<i>Figur 5: Profil från kortsida av ok i dimension 45x125 millimeter.</i>	<i>12</i>
<i>Figur 6: Profil från långsida av ok i dimension 45x125 millimeter.</i>	<i>13</i>
<i>Figur 7: Prefabricerad formbotten samt placering av gjutnippel.</i>	<i>13</i>
<i>Figur 9: Alternativ formbotten av plankor.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 8: Alternativ formbotten av plywood.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 10: Vy ifrån ovan av låstag.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 11: Avfasning av betong mot pelare görs vid behov.</i>	<i>15</i>
<i>Figur 12: Illustration av monteringsprocessen.</i>	<i>15</i>
<i>Figur 13: Placering av isskydd med hänsyn till skadezonen.</i>	<i>18</i>
<i>Figur 14: Principritning av isskydd version 2.</i>	<i>19</i>
<i>Figur 15: Låsning görs med hjälp av fingerskarv och stag. De synliga avstyvningarna är till för stabilitet och vidhäftning.</i>	<i>20</i>
<i>Figur 16: Bottenplatta, försedd med avstyvningar och gjutnippel.</i>	<i>20</i>
<i>Figur17: Illustration över vakuumformningens principer.</i>	<i>21</i>
<i>Figur 18: Prototyp i två sektioner. Fingerskarv och avstyvningsflänsar är synliga för låsning och stabilitet.</i>	<i>22</i>
<i>Figur 19: Prototyp i två sektioner sedd från baksidan.</i>	<i>22</i>
<i>Figur 20: Färdigmonterat isskydd på ok.</i>	<i>24</i>
<i>Figur 21: På grund av trycket lossnade ett gångjärn i infästningen.</i>	<i>25</i>
<i>Figur 22: Skarvarna glipade i samband med gjutning.</i>	<i>25</i>
<i>Figur 23: Formen buktar ut mellan spännbanden.</i>	<i>25</i>

11 Bilagor

11.1 Bilaga 1: Färdigt monterat befintligt isskydd i stål



11.3 Bilaga 3: Ritning över prototyp version 3.



11.4 Bilaga 4: Offert över prototyp tillverkning från Got Design

1(2)



GÖTEBORGS HAMN AB / PORT OF GÖTEBORG AB
Anläggningsavdelningen
403 38 Göteborg, Sweden

GOT Design AB
Sisjö Kullegata 6
421 32 V.a Frölunda
Tele. +46 31 686340
Fax. +46 31 686341
www.gotdesign.se
Org.nr. 556622-1825

Datum: 2011-05-16
Offertnummer: 10026-01 utgåva 01, Prototyp-Isskydd
Förfrågan: 2011-05-11
Er referens: Tobias Hagman, tobias.hagman@portgot.se
Vår referens: Lars-Olof Axelsson, Lars-Olof.Axelsson@gotdesign.se
Kopia: Stefan Sievers, Stefan.Sievers@gotdesign.se

Offert – Prototyp-Isskydd.

Beskrivning:

Tillverkning av vakuumformningsverktyg enligt fil:
Halva, koncept 1 med urtag för spännband
Material: Ureal 0,7

Vakuumformning av 10 detaljer
Halva, koncept 1 med urtag för spännband
Ställkostnad / order
Material: ABS
Skivtjocklek före formning: 6 mm
Kulör: Svart

Anmärkningar:

Hakar tillverkas i SLS och limmas dit på detaljen.
Lagring: verktyg lagras i 2 år efter den senaste ordern av detaljer,
därefter sker utsortering i samråd med kund.

Priser exkl frakt och emballage.

Tid:

Prototyparbetet kan påbörjas efter att vi fått 3D-modeller från er
och efter skriftlig beställning.

Ledtid:

ca 3 arbetsveckor med reservation för mellanliggande order.
Leveranstid måste avtalas.

Kostnad:

83 500 SEK, exklusive moms

Fakturerings:

Vid uppdragets slut.

Betalningsvillkor:

30 dagar från fakturadatum.
Dröjsmålsränta enligt räntelagen.

Villkor:

Generella villkor enligt NL01

Giltighetstid:

30 dagar från offertdatum.
Med reservation för mellankommande uppdrag.

Got Design AB	Telephone / Fax	Organisation no.	Bankgiro	VAT no	Swift code:
Sisjö Kullegata 6	+46 31-686340	556622-1825	5365-4042	16556622182544	ESSESESS
421 32 V.a Frölunda	+46 31 686341				
Sweden					