



CHALMERS



En analys av lämpliga material och sammankopplingar för flytande plattformar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik, Design och Produktutveckling.

Alex-Eskander Azar
Charlotta Lam

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023
www.chalmers.se

En analys av lämpliga material och sammankopplingar för flytande plattformar

ALEX-ESKANDER AZAR
CHARLOTTA LAM



CHALMERS

INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

En analys av lämpliga material och sammankopplingar för flytande plattformar

ALEX-ESKANDER AZAR

CHARLOTTA LAM

© ALEX-ESKANDER AZAR, 2023

© CHARLOTTA LAM, 2023

Handledare, examinerator: Christer Persson

Industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Omslagsbilden visualiserar en skiss över samhället Schoonschip i Amsterdam som består av flytande hus och byggnader.

Göteborg, Sverige 2023

FÖRORD

Detta examensarbete motsvarar 15hp och är skriven på högskoleingenjörsprogrammen Ekonomi och Produktionsteknik och Design och Produktutveckling på Chalmers tekniska högskola. Arbetet har gjorts på företaget *FirstToKnow* i samarbete med samarbetsnätverket Floating Lab Gothenburg.

Vi vill först tacka våra handledare på *FirstToKnow*, Dan Melander och Hans Grönvall som har gett oss möjlighet att utföra detta arbete hos dem, och hjälpt oss framåt i processen. Vi vill även tacka Björn Södahl på Södahl & Partners AB för all vägledning och kunskap som han tillfört för vårt arbete.

Vidare vill vi också tacka vår handledare och examinator Christer Persson på Chalmers, som har väglett och motiverat oss under arbetets gång. Utan Christers hjälp skulle arbetsprocessen inte ske lika smidigt som det har gjort.

Vi vill också tacka alla andra som har bidragit till detta arbete, i form av möten och vägledning.

Göteborg, Sverige 2023

En analys av lämpliga materialval och sammankopplingar för flytande plattformar

ALEX-ESKANDER AZAR

CHARLOTTA

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I samband med klimatförändringar och överbefolkning har boplotsproblem uppkommit. För att åtgärda konsekvenserna har flytande bostäder på vatten blivit en del av lösningarna. Haven motsvarar 71 procent av jordens yta, vilket ger mycket spelrum för byggnationer på vatten. Idag finns det flera länder som har utvidgat sin infrastruktur bortom landområden och allt fler bostadsområden byggs på vatten. I Nederländerna finns hus på vatten med baskonstruktion som vilar sig på havsbotten, men även hus som flyter på vattenytan. På grund av dagens samhällstillstånd är väsentligt att utnyttja utvecklingen som tillåter invånare att bo på vatten året runt. Detta för att bemöta de tidigare nämnda miljö- och samhällskonsekvenserna.

FirstToKnow samverkar i EU projektet Merging och samarbetsnätverket Floating Lab Gothenburg, där visionen är att skapa ett samhälle på vatten med avseende på miljö och hållbarhet. Målet är att skapa hållbara bostäder för behövande och öka integration. 2023 sjuöettes första testprojektet, husbåten Anna, för att undersöka flytförmåga, kvalitet och prestanda för vidare utveckling.

Syftet med arbetet är att introducera lämpliga material och kopplingssystem för flytande plattformar. Rapporten inleds med en övergriplig studie av företaget *FirstToKnow* och dess samarbetspartners. Arbetet omfattar en litteraturstudie av potentiella material för flytande plattformar där en jämförelse visar att trä har fler miljöfördelar samtidigt som det uppfyller kraven för marina sammanhang. Studien innefattar också en jämförelse av kopplingssystem för plattformar där kopplingar med direkt påverkan är mest gynnsam.

Nyckelord: Plattform, ponton, hållbarhet

Gothenburg, Sweden 2023

An analysis of suitable material choices and connections for floating platforms.

ALEX-ESKANDER AZAR

CHARLOTTA

The institute for Industrial and material science

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In connection with climate change and overpopulation, housing problems have arisen. To address the consequences, floating residences on water have become part of the solutions. The oceans represent 71 percent of the Earth's surface, providing ample space for construction on water. Today, several countries have expanded their infrastructure beyond land areas, and more and more residential areas are being built on water. In the Netherlands, there are houses on water with a foundation resting on the seabed, as well as houses that float on the water surface. Due to the current state of society, it is essential to utilize the development that allows residents to live on water year-round. This is to address the environmental and societal consequences.

FirstToKnow collaborates in the EU project "*Merging*" and the cooperative network "Floating Lab Gothenburg," where the vision is to create a society on water regarding the environment and sustainability. The goal is to create sustainable housing for those in need and promote integration. In 2023, the first test project, the houseboat "Anna," was launched to examine buoyancy, quality, and performance for further development.

The purpose of the work is to introduce suitable materials and connection systems for floating platforms. The report begins with a comprehensive study of the company FirstToKnow and its collaborative partners. The work includes a literature review of potential materials for floating platforms, where a comparison shows that wood has more environmental benefits while meeting the requirements for marine contexts. The study also involves a comparison of connection systems for platforms, where connections with direct impact are most favorable.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 <i>Bakgrund</i>	1
1.1.2 Husbåt	1
1.1.3 Husbåtar runtom i världen	2
1.1.3.1 IJBurg	2
1.1.3.2 Makoko	3
1.1.4 Företag och samarbeten	4
1.2 <i>Syfte</i>	5
1.3 <i>Avgränsningar</i>	5
1.4 <i>Frågeställning</i>	5
2. Metod	6
2.1 <i>Planering</i>	6
2.2 <i>Litteraturstudie</i>	6
2.3 <i>Diskussion</i>	6
2.4 <i>Källkritik</i>	6
3. Litteraturstudie	8
3.1 <i>Uppbyggnad av plattformar</i>	8
3.1.2 En ponton som plattform (konstruktion 1)	8
3.1.2 Ram & däck (konstruktion 2)	9
3.2 <i>Pontoner</i>	10
3.2.1 Rör-pontoner	11
3.2.2 Modul-pontoner	12
3.2.3 Båtskrov	12
3.3 <i>Material</i>	14
3.3.1 Trä	15
3.3.1.1 Träets miljöpåverkan	16
3.3.1.2 Träets beständighet	18
3.3.1.3 Materialegenskaper	19
3.3.2 Betong	20
3.3.2.1 Materialegenskaper	22
3.3.2.2 Armerad betong	22
3.3.2.3 Miljöaspekter / LCA	23
3.3.3 Cement	24
3.3.3.1 Materialegenskaper	25
3.3.3.2 Flygaska	26
3.3.4 Stål	26
3.3.4.1 Materialegenskaper	27
3.3.5 Polyeten	27
3.3.5.1 Materialegenskaper	28
3.4 <i>Kopplingar för flytande plattformar</i>	28

3.4.1	Plattform och kaj	30
3.4.1.1	Semi-automatic mooring	31
3.4.1.2	Greppbaserad auto-förtöjning	31
3.4.2	Plattform och plattform	32
4.	Sammanställning av data	34
4.1	<i>Material</i>	34
4.2	<i>Båtskrov</i>	35
4.3	<i>Kopplingssystem</i>	35
5.	Analys & Diskussion	37
5.1	<i>Material</i>	37
5.1.1	Största miljöboven: betong eller trä?	37
5.1.2	Jämförelse av stål, polyeten och Betong	38
5.1.3	Rekommenderad materialval	39
5.1.3.1	Hur kan betong minska klimatavtrycket?	40
5.2	<i>Att välja form på flytkropp</i>	40
5.3	<i>Kopplingar</i>	41
6.	Slutsats	43
	Referenser	44
	Bildreferenser	48

1. Inledning

Överbefolkning, förhöjda havsnivåer och andra klimatförändringar ställer krav på nya lösningar för byggplatser när det gäller hus och lägenheter, kontor, restauranger etc. Examensarbetet syftar till att ta fram förbättringsförslag för plattformar på vatten. Dessa plattformar är en flytande grund som byggnader i olika storlekar kan stå på. Målet är att undersöka och ta fram idéer kring hur dessa kan kopplas samman för att bilda en större plattform där ett samhälle kan utvecklas. Att söka efter relevant material som är hållbar och passande för plattformen, är också en del av studien. Examensarbetet görs genom företaget *First To Know* som tillsammans med samarbetspartners runt om i världen arbetar med EU projektet *Merging*. Detta kapitel inkluderar en bakgrund av företaget och en överblick av behovet som finns av innovativa bostadslösningar. Slutligen presenteras några husbåtar runt om i världen.

1.1 Bakgrund

Jorden täcks av 71 procent vatten och 29 procent land (Srinivas, Dubey & Vijay, 2020). I dagens samhälle är klimatförändringarna drastiska och framtidens miljö blir en stor utmaning. Den globala uppvärmningen får allvarliga konsekvenser för jordens glaciärer och hav, vilket leder till höjda vattennivåer och minskad landmassa tillgänglig för bebyggelse. Detta skapar ett behov av nya innovativa lösningar för boende utanför traditionella landområden. Det är av yttersta vikt att dessa lösningar är hållbara både ur konstruktions- och miljöperspektiv.

Samtidigt som landarealen minskar på grund av miljöförändringarna, ökar världens befolkning (WWF, 2019). Under de senaste hundra åren har befolkningen vuxit från 1,8 miljarder till 7,7 miljarder och ökar fortsatt med 80 miljoner människor per år. FN förutspår att befolkningen kommer att fördubblas år 2100. Denna befolkningstillväxt har skapat bostadsbrist för många och städerna blir alltmer tätbefolkade. Flytande byggnader och samhällen har framträtt som en lösning på dessa utmaningar. Detta ställer nya krav på boendialternativ för de behövande. Efterfrågan på flytande plattformar fortsätter att öka och det finns därför ett behov av innovativa design- och konstruktionsmetoder som kan balansera funktionalitet och hållbarhet.

1.1.2 Husbåt

I flera århundraden har människor använt sig av husbåtar över hela världen (Callegaro, 2019). Till skillnad från en vanlig båt som syftar till att ta sig fram, är husbåtars främsta funktion att användas som ett hem på vatten. Det har utvecklats flera varianter av modernare flytande hus på vatten, exempelvis hus som står på pelare från havsbotten, samt hus med liknande funktioner men de flyter upp vertikalt med hjälp av pontoner när havsnivån stiger, så kallade

amfibiehus (Climate Adapt, 2023). Det finns även hus som enbart flyter och som byggs av pontoner, vilket är något som detta arbete kommer att fokusera på. Dessa flytande hus kräver inte en grund att stå på utan är baserade på principen om flytkraft. Basen är därmed en mycket viktig del av strukturen då den bär förmågan att hålla upp last i form av levande last, dödlaster och andra laster som huset kan stöta på under dess livslängd. Basen består oftast av någon form av flytkropp, en ram och ett däck som huset står på. Figur 1 nedan visar en husbåt som byggts av Egnahemsfabriken i samarbete med *Merging* projektet. Baskonstruktionen består av cylindriska polyetenpontoner, en träram och ett trädäck.



*Figur 1. Husbåten Anna
Egnahemsfabriken (u.å)*

1.1.3 Husbåtar runt om i världen

Dagens moderna samhälle har lett till förändringar i miljön, där nya lösningar måste tas fram för att åtgärda dess konsekvenser som exempelvis en bristande tillgänglighet av bostäder. Exempel på utveckling av flytande städer och kvarter är IJburg i Nederländerna, Venedig i Italien, Floating Villa i Dubai etc. Staden IJburg byggdes 2012 och ska erbjuda 18 000 bostäder och hem till 45 000 människor när den är färdigbyggd. (Srinivas, Dubey & Vijay, 2020). Andra städer runt om i världen, exempelvis i Vietnam, har även en lång historisk utveckling av flytande bosättningar för både boende och arbetsplatser. Här har människor bott i flytande bostäder i århundraden (Nguyen, 2021). Dock är dess byggnader gjorda av väldigt enkla konstruktioner. Vanliga typer av hus är: hus med halva konstruktionen på land och halva i vatten som stöds av pålar. Andra exempel är pålhus och hus på båtar.

1.1.3.1 IJBurg

Staden IJBurg är en ny modern stad på vatten i Nederländerna, som ligger på artificiella öar i sjön IJmeer (Witsen, 2013). Öarna är omringade av vatten vilket ger invånarna en unik livsmiljö. Dessa hem är inga vanliga husbåtar, utan riktiga flytande hem i anslutning till bryggor. Bostäderna är förtöjda i två stålplåtar som gör det



*Figur 2. IJBurg:s Waterbuurt
Witsen (2012)*

möjligt för dem att röra sig i vertikal riktning med växlande tidvatten. Nya utmaningar har utforskats och numera finns även helt flytande hus som vilar på vatten istället för pålar. Dessa bostäder har inlett ett nytt kvarter, Waterbuurt i IJburg. Intill kajen finns byggnaden Kadegebouw, som är relaterat till projektet, men är byggt på en stor flytande plattform istället. Waterbuurt består av flytande hus och bryggor som kopplas samman för att bilda ett kvarter, se figur 2. Dessa bryggor är gjorda på betong samt aluminium på gångytan. Aluminium kräver lite underhåll och har låg risk för halka när det regnar. Detta är två fördelar som slår trä, vilket är materialet som planerades användas innan bygget. Bryggorna är även designade på ett sätt så att kablar och ledningar inte syns från gångvägen. Panelerna på bryggorna är avtagbara vilket möjliggör tillgänglighet av dessa kablar och ledningar från ovansidan.

Husen är byggda på en betonggrund, vars botten ligger 1,5 meter under vattenytan (Witsen, 2013). Dessa konstruktioner kan klara sig i vatten i flera hundra år utan underhåll. Tomrummet inuti betonggrunden kan utnyttjas som boyta under vattenytan. Ett annat alternativ är att fylla tomrummet med frigolit, men det skulle innebära mindre boyta. För att hålla huset på plats är de fästa till förtöjnings-stolpar, se figur 3. Fästningen innebär att husen fortfarande kan röra sig några decimeter vertikalt.



Figur 3. Förtöjnings-stolpe
Witsen (2012)

De flesta av husen i Waterbuurt är gjorda av trä på betongkonstruktioner (Witsen, 2013). Träet är ett av de miljövänligare materialen och medför ingen större belastning. Trästrukturen på betongplattformen ger hela konstruktionen en låg tyngdpunkt vilket medför stabilitet. En konstruktion som istället är tung upptill är mer känslig för storm och tunga väderförhållanden.

1.1.3.2 Makoko

Makoko är en flytande by i Lagos Lagoon i Nigeria (Nyandega, 2023). Byn började som sex separata byar för fiske för cirka 200 år sedan och har för närvarande upp till 300,000 invånare. Byggnaderna är gjorda av timmer och återanvända avfallsmaterial som byggs av lokalbefolkningen. Detta i samband med oplanerad tillväxt har lett till problem i Makokos. Då denna expansion sker i avsaknad av ett statligt sanktionerat stödsystem, är kvaliteten på markåtervinningen bristfällig och ojämn. De flesta husen står på nedsänkta träpålar i saltvattnet med ett medeldjup på en halv meter. Denna struktur gör husen känsliga för höga vattennivåer och stormfloder.

Sedan 2011 har NLÉ forskat och byggt upp expertis inom naturbaserade lösningar för utveckling på vatten (NLÉ, 2023). 2012 skapade de sin första prototyp *Makoko Floating school* (MFS), ett byggkoncept som är utformat för att bemöta viktiga problem som många världsstäder står inför, dvs. snabbt expanderande stadsutveckling och effekterna av

klimatförändringar. MFS har implementerats i 5 olika länder på 3 kontinenter. NLÉ:s prototyp är anpassningsbar, flyttbar och ekonomisk vilket är lämpligt i Makoko och andra expanderande samhällen på vatten. MFS byggdes i det historiska vattensamhället Makoko. Prototypen har utvecklats med en vision om att skapa ett inkluderande, lokalt anpassningsbart och skalbart byggsystem, samt en prisvärd boendelösning för många samhällen och städer bredvid vatten. Denna struktur har sedan vidareutvecklats och byggts i flera andra städer som Kina, Italien och Belgien.

1.1.4 Företag och samarbeten

First To Know arbetar med att hitta dold potential hos sina kunder så de kan utvecklas och växa till nya nivåer, både som individer, team och organisation. Miljö och hållbarhet är två grundpelare som företaget alltid strävar mot. Samhällsomvandling i världen ställer nya krav som måste mötas vilket innebär att deras arbete är viktigt för att gynna företag, individer och miljö. Just nu samverkar *First To Know* med initiativet Floating Lab Gothenburg som syftar på att utveckla ett levande samhälle på vatten. Målet är att skapa cirkulärt och klimatsmarta små flytande byggnader för bostäder, företag och andra verksamheter i hamnar, floder, sjöar och kanaler. Dessa lösningar på husbåtar ska hållas inom *Merging* och Floating Labs ramverk.

EU-projektet *Merging* är en internationell studie av invandrarintegration genom deltagande bostadsinitiativ. Målet med projektet är att undersöka bästa möjliga sätt att integrera invandrare och att informera dessa resultat till beslutsfattare och andra intressenter. Projektet ska jämföra olika fallstudier för att identifiera de mest effektiva metoderna och strategierna för att bedöma tillvägagångssätt vad gäller behandling och integration. En del av arbetet sker i samarbete med Floating Lab Gothenburg där olika husbåtar byggs och testas. Dessa görs i Frankrike, Spanien och Sverige. *Merging* projektet har beviljats 3 miljoner euro av det europeiska H2020-programmet för deras 3 åriga projekt som innefattar 10 samarbetspartners:

- University of Bologna (Italien)
- Göteborgs universitet, Malmös universitet (Sverige)
- The French research centre Arènes of Rennes, The Université Jean Moulin Lyon 3, Lyon Ingeniere Projets, Quartoze (Frankrike)
- University of Valencia (Spanien)
- Social Business Earth (Schweiz)
- COTA (Belgien)

2023 sjösattes första prototypen, husbåten Anna, i Ringön, Göteborg. Husbåten byggdes för att testa och jämföra olika typer av hus och skapa det mest effektiva för att bygga bostäder på vatten. Husbåten byggdes av Egnahemsfabriken Ringön och initierades av det franska arkitektkontoret Quartorze som en del av *Merging*. Husbåten erbjuder en unik möjlighet att främja integration och samtidigt utforska nya sätt att bygga boplatser.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utarbeta förslag för en hållbar plattform på vatten. Fokus ligger på att undersöka lämpliga material för plattformen med hänsyn till hållbarhet, när det gäller utsläpp och andra miljöpåverkningar. Förslag på kopplingssystem för plattformarna utgör också en stor vikt av arbetet.

1.3 Avgränsningar

Arbetet fokuserar inte på förbättringar av designkoncept för plattformskonstruktionen. Syftet är inte att utveckla en färdig design av plattformen, utan att enbart erbjuda förslag på idéer om hur sammankopplingen mellan plattformar kan se ut. Följande ritningar i rapporten kommer inte att anges i korrekta skalor eller dimensioner.

1.4 Frågeställning

Vilka material är lämpliga för att tillverka en flytande plattform med hög hållbarhet?

Hur kan flytande plattformar kopplas samman för att bilda en modulär plattformstruktur?

2. Metod

Metodavsnittet i denna avhandling presenterar en omfattande översikt över den systematiska ansats som användes för att uppnå forskningsmålen. Detta avsnitt ger en beskrivning av forknigen som ligger till grund för arbetets analys och diskussion. Slutligen motiveras även rapportens trovärdighet.

2.1 Planering

Arbetet inleddes med ett besök på företagets kontor för att noggrant definiera ämnesområdena och diskutera tillvägagångssättet. Därefter påbörjades en omfattande litteraturstudie för att skaffa en djupare inblick i befintlig forskning och etablerade rön inom området. Genom att noggrant granska relevant litteratur och forskning kunde en solid grund läggas för den kommande analysen. För att underlätta genomförandet och upprätthålla en effektiv tidsplan skapades både ett Gantt-schema och en planeringsrapport. Genom att använda dessa verktyg kunde arbetet genomföras smidigt och i enlighet med den fastställda tidsramen. Dessa planeringsmetoder bidrog till en strukturerad och organiserad forskningsprocess och möjliggjorde en översiktlig hantering av de olika arbetsmomenten.

2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes för att söka relevant information och fakta om flytande bostäder. Syftet var att skaffa en omfattande förståelse för befintlig kunskap och praxis inom detta specifika område. Genom att noggrant granska vetenskapliga artiklar, rapporter och andra relevanta källor samlades informationen in och sammanställdes.

2.3 Diskussion

Förutom litteratursökningen samlades värdefulla insikter genom diskussioner med branshexperter och yrkesverksamma inom området för flytande bostäder. Dessa diskussioner fungerade som ett kompletterande informationskälla och gav en praktisk perspektiv på ämnet. Syftet med dessa diskussioner var att få förstahandskunskap om utmaningar, som var intressanta att undersöka i detta arbete. Diskussionerna var även till hjälp i form av vägledning och frågor som var oklara.

2.4 Källkritik

De källor som har använts i denna rapport hämtades främst från källor som Chalmers biblioteksdatabas, vilka innehåller granskade och vetenskapligt värdefulla material. Dessa källor anses vara pålitliga och tillförlitliga för att säkerställa kvaliteten på informationen som används.

Utöver detta har även rapporter och information från företagswebbplatser använts i viss utsträckning. Det är viktigt att vara medveten om att källor från företag kan vara partiska och förespråka specifika intressen. I detta fall utnyttjades dock dessa källor enbart för att genomföra en översiktlig marknadsanalys och identifiera vad marknaden har att erbjuda inom området flytande bostäder. Informationen från företagswebbplatser användes med försiktighet och kritiskt granskades för att säkerställa att endast relevanta och objektiva uppgifter inkluderades i rapporten.

3. Litteraturstudie

Flytande plattformar är mångsidiga strukturer som kan användas för en rad olika applikationer, från transport och rekreation till bostadsboende och kommersiella operationer. De erbjuder unika fördelar jämfört med landbaserade strukturer, såsom förmågan att anpassa sig till förändrade vattenstånd, minska miljöpåverkan och öka rörligheten. En av de mest populära användningarna av flytande plattformar är för bostadsboende, särskilt i form av flytande hus eller husbåtar. Dessa strukturer finns idag i vattendrag runt om i världen och har funnits i flera århundraden (Srinivas, Dubey & Vijay, 2020).

Flytande hus kan variera från små, enkla bostäder till stora, flervåningshus med alla bekvämligheter som finns i ett traditionellt hus. Utöver bostadsboende används flytande plattformar också i en rad andra sammanhang. De kan fungera som bryggor för båtar, plattformar för vattensport och rekreation, offshore-plattformar för olje- och gasborrning, samt till och med som flytande hotell och evenemangshoteller. På senare år har det funnits ett växande intresse för att använda flytande plattformar för hållbar utveckling, exempelvis flytande gårdar, förnybara energianläggningar och till och med hela städer.

Det kommande kapitlet kommer att omfatta datainsamling om husbåtar, plattformar, flytkroppar och material, samt olika kopplingssystem mellan plattformarna. Informationen baseras på webbsidor, vetenskapliga artiklar och rapporter.

3.1 Uppbyggnad av plattformar

För att placera ett hus på vatten skapas en plattform som fungerar som grund. Det är viktigt att konstruktionen av plattformen tar hänsyn till vattnets fysikaliska krafter för att undvika sjunkning. Flytkraft är en avgörande princip inom sjöfart och båtdesign (National Ocean Service, u.å). När ett objekt placeras i vatten genereras en uppåtriktad kraft, känd som flytkraft. Enligt Arkimedes princip motsvarar denna kraft vikten av det vatten som objektet förtränger och beror på både volymen av förträngd vätska och vätskans densitet.

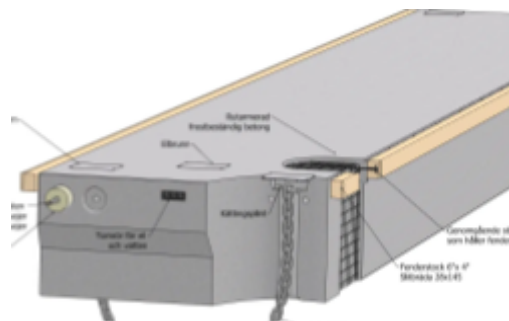
Det finns flera metoder för att bygga en plattform på vatten, och i detta avsnitt presenteras två möjliga tillvägagångssätt. Det första sättet innebär att använda en stor flytkropp, även kallad ponton, i form av ett rektangulärt block där husen placeras ovanpå. Det andra sättet är att använda mindre pontoner som fästs i en ram med ett däck som yta.

3.1.2 En ponton som plattform (konstruktion 1)

Vid användning av en stor ponton i form av ett rätblock krävs ingen ram eller däck till skillnad från vid användning av två mindre pontoner. När två pontoner tillsammans ska ge flytkraft, arbetar de tillsammans vilket innebär att de båda måste fästa till något för att hålla ihop. Detta behövs inte vid användning av enbart en enda stor ponton. För en sådan

konstruktion kan man använda sig av flera olika material såsom plast eller stål, men vanligast tillverkas dessa strukturer i betong. I detta arbete nämns denna konstruktion som *konstruktion 1*.

Betongfundament används alltmer inom marina byggindustrin för att konstruera betonghusbåtar. Det har observerats att betonghusbåtar har många betydande fördelar jämfört med material som traditionellt används, som stål eller trä (Gauld, 2011). Betonghusbåtar, även kända som betongspontoner, har en rektangulär och lådformad design som är utformad för att flyta och bära maximal belastning under hela sin livslängd (se Figur 4). Livslängden för dessa båtar är cirka 100 år, vilket är avsevärt längre än de som är tillverkade av stål eller trä på grund av betongens materialkvaliteter. Dess höga vikt ger också utmärkta egenskaper för att motverka vågrörelser.



Figur 4. Betongskrov
Rixö Bryggan (u.å)

Normalt sett används någon form av skumkärna i betongplattformarna för att underlätta flytkraften (Aqua Pontoons, u.å). Skummet har egenskaper som vattenmotstånd, vilket innebär att plattformen inte kommer att sjunka vid eventuella skador. I vissa fall kan skummet skyddas genom att kläs i högdensitetspolyeten för att förhindra skador från havet. En stålram, känd som waler, placeras runt skummet genom att svetsa ihop armeringsstål. Detta görs för att förhindra eventuella rörelser som kan uppstå under gjutningen. Under detta steg installeras även PVC-rör för ström och vattenuttag, istället för att ha dem exponerade på plattformen. När pontonerna har gjutits lämnas de för att torka i cirka 3-7 dagar, beroende på storlek. När pontonerna är färdiga transporteras de till närmaste sjösättningsramp. På grund av deras storlek och vikt kan de inte transporteras på konventionellt sätt, så de förs över genom att placera en motor på dem när de har sjösatts och förflyttas i vattnet till den önskade destinationen.

3.1.2 Ram & däck (konstruktion 2)

Det andra konstruktionssättet har en uppbyggnaden som kan delas upp i tre huvuddelar: flytkroppar, ramen som håller fast flytkropparna och ett däck ovanpå. Ramen kan konstrueras med hjälp av ett traditionellt bjälklag som fungerar som en bärande struktur (Byggtjänst, u.å). Reglarna i bjälklaget fästs samman med hjälp av vinkeljärn på insidan. Därefter kan en trall

monteras ovanpå. I fallet med en flytande plattform kan trallen kapas och placeras så att den skapar ett hålrum för ett hus. Detta underlättar när huset ska fästas på plattformen. Ett samarbetsprojekt mellan *Merging Projektet* och *Floating Lab Gothenburg*, tillsammans med *Egnahemsfabriken* och andra parter, har byggt husbåten Anna (se figur 5 och 6). Huset är konstruerat av trä och vilar på en struktur av cylindriska polyeten-flytkroppar, ett bjälklag av trä och en trall av trä.



Figur 5 & 6. Husbåten Anna
Egnahemsfabriken (u.å)

På grund av träets bristande hållbarhet i vatten, kan konstruktionen byggas i stål. Detta skulle innebära en liknande struktur som ett bjälklag men gjort på stålplåtar. Ovanpå kan sedan ett trädäck placeras på ett liknande sätt.

I detta arbete nämns denna uppbyggnad som *konstruktion 2*.

3.2 Pontoner

Om ett hus byggs på ett flytande däck som förlitar sig på cylindriska pontoner för flytkraft och husets vikt gör att pontonen sjunker mer än 50 % under vattnet, kan det medföra flera potentiella konsekvenser, såsom instabilitet, ojämn fördelning av vikt och strukturella skador. Ju mer pontonen sjunker under vattnet, desto mer instabil blir den flytande plattformen. Stabiliteten hos en flytande struktur är beroende av flytkraften som tillhandahålls av pontonerna. När pontonerna sjunker djupare förskjuts strukturens tyngdpunkt, vilket potentiellt kan leda till instabilitet och öka risken för att plattformen kan tippa eller välta.

Flytkroppen är en avgörande del av en flytande plattformskonstruktion eftersom den påverkar hur länge plattformen kan användas. Det är fördelaktigt att investera i högkvalitativa pontoner som kan behålla sin flytkraft under hela livscykeln. Genom att välja pontoner av hög kvalitet kan användaren vara trygg med att plattformen kommer att fungera pålitligt och säkert under lång tid. Informationen i avsnitt 3.2 hämtas direkt från AlfaBryggans egen webbplats. AlfaBryggan är en återförsäljare av pontonplattformar tillverkade av stål eller polyeten med olika typer av konstruktioner (AlfaBryggan AB, u.å.).

3.2.1 Rör-ponton

Rörponton har funnits sedan 1970- och 1980-talet och används ofta inom gas- och värmeledningar samt inom gruvindustrin (AlfaBryggan AB, u.å.). Dessa pontoner är mycket funktionella och hållbara, vilket gör dem till en populär lösning för bastuflottar, bryggor, modulhus, terrasser och arbetsplattformar. AlfaBryggan erbjuder rörponton i både polyeten och stål, se figur 7 och 8.

Luftfyllda rörponton tillverkade av polyeten har många fördelar. De kan enkelt anpassas till olika placeringar och ger hög och säker bärkraft längs kanterna. Dessutom är de mindre mottagliga för isbildning, vilket gör dem till ett utmärkt val för kallare klimat. Dessa pontoner är även lätta på grund av sitt luftinnehåll och absorberar inte vatten som betong gör.

Rörpontonens diameter och längd är avgörande faktorer för dess bärkraft, och trots sin låga vikt klarar de höga lastvikter per meter jämfört med betongponton. De är också utformade för att hantera belastningen från is, vilket gör dem till ett kostnadseffektivt och miljövänligt alternativ. Genom att kunna motstå isbelastning minskar de risken för skador och minimerar behovet av reparationer. Detta främjar en hållbar resursanvändning och minskar påverkan på miljön.

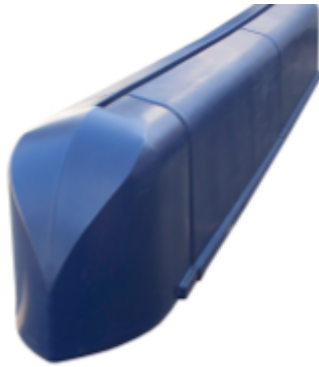


*Figur 7. Rörponton av polyeten
Alfabryggan (u.å)*



*Figur 8. Rörponton av stål
Alfabryggan (u.å)*

Rörponton kan också tillverkas i bl.a stål som är starka och stabila samt har en livslängd på cirka 100 år med underhållsintervaller på cirka 25-30 år, vilket gör dem till ett utmärkt val för tyngre konstruktioner på vatten (AlfaBryggan AB, u.å.). Precis som polyetenrörpontonerna är diameter och längd viktiga faktorer för bärkraft och design. Stålpontonerna kan motstå tjock is och tål andra påfrestningar, vilket gör dem till en robust lösning för byggprojekt på vatten. De är särskilt lämpliga för bryggor, gångbroar, småbåtshamnar och bostadshus på vatten.

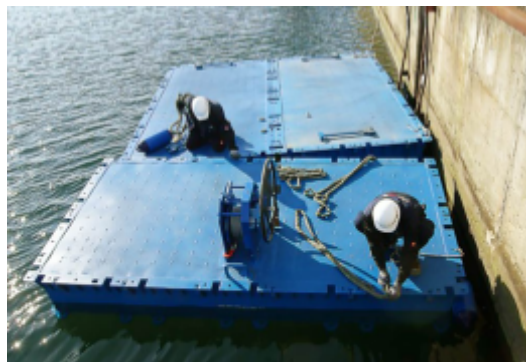


*Figur 9. AD-ponton av polyeten
Alfabryggan (u.å)*

AD-pontoner är en utmärkt lösning för enklare konstruktioner där högre bärfkraft per meter behövs jämfört med mindre rörpontoner (Figur 9). Dessa pontoner har en låg egenvikt vilket gör det enkelt att flytta och transportera dem (AlfaBryggan AB, u.å.). Istället för luft är dessa fyllda med EPS, expanderad polystyren. Tack vare sin extra höga bärfkraft passar AD-pontoner särskilt väl för användning som grund för modulhus.

3.2.2 Modul-pontoner

Modulpontoner erbjuder möjligheten att koppla samman och skapa en utökad yta med hög bärfkraft (se figur 10) (AlfaBryggan AB, u.å.). Dessa pontoner är utrustade med luft och är oerhört stabila, vilket gör dem lämpliga för olika ändamål, såsom transportplattformar, arbetsplattformar eller scenbyggnader. De är lätta att transportera och enkla att montera och demontera, vilket gör dem mycket praktiska i många olika sammanhang. Modulpontoner tillverkas också i plast eller stål och passar utmärkt som arbetsplattformar vid mindre projekt.



*Figur 10. Modulponton av stål
Alfabryggan (u.å)*

3.2.3 Båtskrov

Förutom de tidigare nämnda pontonerna kan flytkroppar också utformas med inspiration från båtar. Inom sjöfartsterminologi syftar "skrov" på de ihåliga flytkraftiga kropparna hos

sjöfarkoster som är i direkt kontakt med vattnet och bär farkostens viktigaste delar (National Ocean Service, u.å.). Skrovet utgör sidorna och botten på sjöfarkosten och kan tillverkas på olika sätt och av olika material. I grund och botten finns det två huvudtyper: displacementskrov, som tränger undan vatten, och planadeskrov, som ligger på vattenytan.

En båt som är konstruerad för hög hastighet måste ha tillräckligt med displacement för att hålla sig flytande samtidigt som skrovets yta minimeras för att minska friktionen (National Ocean Service, u.å.). Å andra sidan behöver ett föremål som är utformat för att bära en tung vikt, till exempel ett lastfartyg, ha ett större displacement och mer kraft för att övervinna ökad friktion. För att uppnå vridstyvhet och motstå sjögång krävs det interna förstärkningar i skrovet, såsom bottenstockar, spant och längs- och tvärgående strukturer. Dessa förstärkningar hjälper till att motverka de krafter som påverkar skrovet när båten rör sig genom vågor och strömmar.

Det finns flera olika typer av skrov på båtar. Enligt Maritime Page (u.å.) är följande tre de vanligaste:

Platt

Det platta skrovet är den stabilaste designen och vanligt förekommande på mindre båtar. Det är utformat för att lyfta framskrovet av båten ur vattnet när den accelererar, vilket gör att båten glider över vattenytan. Dessa båtar fungerar som displacementskrov vid stillastående eller låga hastigheter, men när de ökar farten lyfter de sig mot vattenytan. Platt skrov är lämpliga för fiskebåtar som ibland är stillastående i vattnet och för båtar som används i grunt vatten, som floder. Dock är dessa båtar inte lika stabila i vågor och rörelse, eftersom deras platta botten gör dem mer benägna att vända upp och ned vid vågpåverkan.

V-formad






V-formade skrov finns i två huvudsakliga varianter: djupt V och grunt V. Skillnaden ligger i höjden på skrovet ovanför vattenytan, vilket kallas deadrise-vinklar. Djupt V-skrov används vanligtvis för större båtar och är mer lämpade för att hantera djupt och oförutsägbart vatten. V-formen möjliggör snabbhet och smidig passage genom vågor. Skrovets form tillsammans med båtens hastighet gör att dessa båtar skär genom vågorna på ett effektivt sätt. V-formade skrov är mycket stabila när de är i rörelse, men mindre stabila vid stillastående.

Viktfördelningen är viktig när båten inte är i rörelse, eftersom en ojämn belastning kan få båten att luta och vingla.

Rund-formad

Rundformade skrov är mest effektiva om man vill minimera motståndet och uppnå maximal flytkraft. De har släta ytor med få skarpa kanter. Stabiliteten hos dessa skrov beror i hög grad på tyngdpunkten, som bör vara så låg som möjligt. Segelbåtar är ofta utrustade med rundformade skrov för att uppnå denna stabilitet, och de har vanligtvis en tung köl som ger extra tyngd och vridstyvhet åt båten.

Förutom dessa tre skrovtyper är också multi-skrov och ponton-skrov vanligt förekommande (Sorensen, 2014, 4 september). Med ponton-skrov avses i detta sammanhang cylindriska pontoner. I figur 11 och tabell 1 nedan presenteras egenskaperna för varje skrovform.

	Platt (planade skrov)	<ul style="list-style-type: none"> • Extremt stabil • Hackigt vid viss hastighet • Klarar sig inte bra vid vågor
	V-form (planade skrov)	<ul style="list-style-type: none"> • Snabb • Hanterar inte vågor bra
	Rund-formad (deplacementskrov)	<ul style="list-style-type: none"> • Klarar sig bra i tuffa vattenförhållanden • Tenderar att rulla, kan kantra
	Multi-hulls (deplacementskrov)	<ul style="list-style-type: none"> • Extremt stabil och snabb • Klarar sig bra i tuffa vattenförhållanden • Stor vändningsradie
	Ponton-skrov (planade skrov)	<ul style="list-style-type: none"> • Extremt stabil • Ej smidig • Klarar sig inte bra vid vågor

Tabell 1. Olika skrovformar och dess egenskaper

Figur 11. Olika Båtskrov
Sorensen (2014, 4 september)

3.3 Material

För att skapa vattenresistenta strukturer för hus används olika byggmaterial, såsom betong, kakel, tryckbehandlat plywood, virke, tegel och metaller, bland annat (Susanto & Lubis, 2018). Byggnader utgör en betydande miljömässig utmaning för hållbarheten. Det är därför viktigt att noggrant analysera val av hållbara material för flytande plattformar och flytkroppar. Bygg- och anläggningssektorn står för en stor andel av naturresursanvändningen, både när det gäller markanvändning och materialutvinning. Byggnader använder ungefär 50% av världens råmaterial, varav många är icke-förnybara resurser. Dessutom står byggnader för 36% av allt genererat avfall globalt och en tredjedel av växthusgasutsläppen. En av de faktorer som hotar hållbarheten i byggnader är användningen av material som har en negativ påverkan på naturen under hela sin livscykel. Hållbara byggmaterial är per definition inhemska och inköpta med minskade transportkostnader och CO2-utsläpp. De kan inkludera återanvända material, ha lägre miljöpåverkan, vara termiskt effektiva, kräva mindre energi,

vara baserade på förnybara resurser och vara ekonomiskt hållbara, bland annat. För att uppnå hållbarhet måste dessa material också användas korrekt i alla samhällsutvecklingsprocesser. En utvärdering av ett byggmaterials hållbarhet kan göras med hjälp av ett "Green-features" diagram, som utvecklades av Jin Kim Jong 1998 (Susanto & Lubis, 2018). Diagrammet (se Tabell 2) består av 15 funktioner/egenskaper som är uppdelade i tre faser av en byggnads livscykel: förbyggnadsfas (tillverkningsprocessen), byggnadsfasen och efterbyggnadsfasen (hantering av avfall). Verktöget används för att bedöma hur hållbart ett material är baserat på dessa hållbarhetsfaktorer.

Manufacturing Process (MP)	Building Operations (OP)	Waste Management (WM)
Waste Reduction (WR)	Construction Waste Reduction (CWR)	Biodegradable (B)
Pollution Prevention (P2)	Energy Efficiency (EE)	Recyclable (R)
Recycles (RC)	Water Treatment & Conservation (WTC)	Reusable (RU)
Embodied Energy Reduction (EER)	Nontoxic (NT)	Others (O)
Natural Materials (NM)	Renewable Energy Source (RES)	
	Longer Life (LL)	

Tabell 2. Green-features diagram av Jin Kim Jong (1998)

I detta kapitel appliceras Jongs diagram på trä och armerad betong för att identifiera materialens hållbarhet. Kapitlet omfattar även informationsinsamling om polyeten och frigolit som material för flytande konstruktioner på vatten.

3.3.1 Trä

Trä är ett av de mest betydelsefulla byggmaterialen och har använts i flera århundraden (Svenskt Trä, u.å). Även idag finns det många timmerhus i Sverige från 1500-talet tack vare träets unika egenskaper. Trä är det enda byggmaterialet som är helt förnybart, ekologiskt och klimatsmart. Dess låga densitet gör det till ett material med hög hållfasthet i förhållande till sin vikt. Några viktiga fördelar med trä är följande:

- Hög hållfasthet vid låg densitet
- Enkla bygg- och tillverkningsprocesser
- Enkel demontering och möjlighet till ombyggnad
- Lång livslängd och tåligt material

- 100% återvinningsbart
- Förnyelsebart material
- Bred tillgänglighet i Sverige
- Energieffektiv tillverkning

Trä erbjuder en unik kombination av egenskaper som gör det till ett attraktivt alternativ för hållbara byggprojekt. Dess styrka, lätthet och förmåga att återvinnas gör det till ett ansvarsfullt val för miljön. Dessutom är trä en del av Sveriges rika naturresurser och har en stark närvaro i landets byggsektor. Vid tillverkningen av träbaserade produkter kan energieffektiva metoder användas, vilket ytterligare stödjer dess hållbarhetsfördelar.

3.3.1.1 Träets miljöpåverkan

Trä är ett miljövänligt alternativ vid byggkonstruktioner och ett självklart val för att minska klimatavtrycket, enligt Freres Wood (u.å). Genom att använda trä kan vi ta till vara på jordens resurser på ett hållbart sätt. Överskottsträ kan återanvändas för tillverkning av olika produkter som plywood, spånskivor, virke och fanér. Genom ansvarsfull skogsskötsel kan trä leverera miljövänliga byggmaterial samtidigt som det binder koldioxid från atmosfären under sin livstid.

Trä är ett självförsörjande material som enbart behöver sol och natur som källa, vilket ger betydande fördelar både vid tillverkning och återvinning (Svenskt Trä, u.å). Genom fotosyntesen binder träden koldioxid och skapar cellulosa. När träprodukter används förblir kolet bundet tills de förbränns. Vid förbränningen frigörs kolet i form av koldioxid och samtidigt utvinns energi. Den frigjorda koldioxiden återfångas sedan av nyväxande träd och omvandlas till biomassa. Detta innebär att ingen nettotillökning av koldioxid sker i atmosfären. Koldioxiden cirkulerar i ett slutet kretslopp enligt figur 12. Därför betraktas förbränning av träprodukter som jämförbart med återanvändning eller återvinning. Högkvalitativa träprodukter såsom bjälklag, dörrar, lastpallar och fönster kan återanvändas genom reparation. Om träprodukterna inte längre kan användas kan de återvinnas till exempelvis papper eller spånskivor.



Figur 12. Träproduktens kretslopp
Svenskt Trä (u.å)

En betydande andel av bostäderna i Waterbuurt är konstruerade med trä på grund av dess fördelar, både vad gäller lätt vikt och minimal miljöpåverkan på det omgivande vattnet (Witsen, 2013). Metaller som zink, bly och koppar är kända för att läcka och frigöra föroreningar när de kommer i kontakt med vatten, vilket gör dem olämpliga materialval. Dessutom har de en högre densitet som inte är fördelaktig för konstruktioner som behöver flyta på vattnet.

Trä, å andra sidan, är ett organiskt material vars användning i byggnader inte medför någon betydande föroreningsrisk för miljön under de tre faser som presenteras i tabell 3, förutom den bränsleförbrukning som kan vara nödvändig vid transport och tillverkning (Svenskt Trä, u.å). Nedan kommer vi att analysera träets hållbarhet utifrån Jin Kim Jongs diagram för grönt hållbarhetsindex som en ytterligare bedömning av dess miljömässiga fördelar.

Manufacturing Process (MP)	Building Operations (OP)	Waste Management (WM)
WR	CWR	B
P2	EE	R
-	WTC	RU
EER	NT	O
NM	RES	

Tabell 3. Green-features diagram för trä

Enligt tabell 3 har trä totalt 14 hållbara egenskaper inom miljöaspekten som vardera förklaras nedan (Susanto & Lubis, 2018).

För-byggnadsfas

- (WR +): Vid skörd av råvaror och tillverkning producerar trä relativt lite avfall eftersom processen är kort och enkel, och nästan allt avfall som genereras kan användas för olika ändamål.
- (P2 +): Kapning och bearbetning av trä utförs manuellt eller mekaniskt av industri-/virkeföretag, utan stora föroreningar.
- (RC-) Trä är ett förnybart material utan återvunnet innehåll.
- (EER +): Energin som krävs för träbearbetning är relativt låg eftersom den endast behövs vid kapning. Timmerfordelning sker vanligtvis genom att driva stockar längs floden.
- (NM +): Materialinnehållet i trä är helt naturligt.

Byggnadsfas

- (CWR +): Träavfall monterat under konstruktion kan återvinnas för olika ändamål.
- (EE +): Trämontering kräver inte mycket energi, eftersom endast en liten del av enheterna kräver elektricitet.
- (WTC +): Träbearbetning och montering under byggandet använder inte mycket vatten för att undvika att påverka vattenkvaliteten runt byggarbetsplatsen.
- (NT +): Trä är ett naturmaterial som inte innehåller gifter.
- (RES +): Trä är ett material som uppfyller principen om passiv kylning eftersom det har låg värmeledningsförmåga.
- (LL +): Specifika träslag som "ulin" och "bangkirai" har mycket lång livslängd.

Efter-byggnadsfas

- (RU +): Trä kan återanvändas till olika ändamål, till exempel för nya byggnadsdelar, möbler eller andra produkter.
- (R +): Även om trä inte kan återvinnas kan träpulver och flisar bearbetas till andra material.
- (B +): Som ett naturligt material kan trä brytas ner naturligt när det slängs i marken.
- (O +): Trä kategoriseras som ett lokalt material från Borneos skogar som ligger nära planteringsplatsen och är också förnybart.

3.3.1.2 Träets beständighet

Träets hållbarhet kan definieras som dess motståndskraft mot nedbrytning från både atmosfäriska och biologiska faktorer, vilket innebär att materialet kan uppfylla designkraven

utan oväntat underhåll eller rehabilitering (Dias et al., 2022). Trä är emellertid känt för sin begränsade beständighet inom dessa områden. Exempel på atmosfäriska ämnen som kan bryta ned trä inkluderar värme, syre, fukt, kemiska föroreningar och solljus. Biologiska faktorer såsom svampar, insekter och havsborrar har en betydligt större påverkan på träets hållbarhet än de atmosfäriska faktorerna. Därför fokuseras undersökningen enbart på de biologiska faktorerna som påverkar träprodukternas struktur. Dock kan närvaron av atmosfäriska ämnen indirekt påverka träets utseende och därmed även designens prestanda.

För att möta utmaningarna med nedbrytning har träindustrin genom århundradena utvecklat ett brett utbud av konserveringsmetoder. Tillverkningen av dessa konserveringsmedel medför dock hälsorisker för både människor och miljön, vilket har resulterat i förbud mot vissa produkter. Det är en komplex uppgift för dessa producenter att skapa medel som kan öka träets beständighet samtidigt som de inte äventyrar människors hälsa eller den omgivande miljön.

Trots de nedbrytande faktorerna är trä ett mycket tåligt material, och byggnader i trä kan överleva i flera hundra år (Ramboll, u.å). Träbaserade konstruktioner är också mer miljövänliga än alternativa material som betong. Trä är en 100% förnybar resurs och kräver minimal energi vid produktionen. Å andra sidan är betong inte tillverkat av förnybara resurser och kräver betydligt mer energi vid tillverkning. Dessutom bidrar träd till att förbättra klimatet genom sin förmåga att absorbera koldioxid genom fotosyntes, vilket minskar mängden växthusgaser i atmosfären. Det bör noteras att dessa förhållanden varierar beroende på specifika träslag eller betongmaterial.

3.3.1.3 Materialegenskaper

Materialegenskaperna för trä redovisas nedan i tabell 4. Datan är tagen från Granta Edupack för materialen hardwood eftersom de är passande träslag för marina miljöer och en plattformskonstruktion.

Densitet	0,85 - 1,03 g/cm ³	Energiåtgång (primärproduktion)	104 - 115 MJ/kg
Y-modul	20,6 - 25,2 GPa	Vattenåtgång	665 - 735 l/kg
Tryckhållfasthet	68,2 - 83,3 MPa	Pris	58,4 - 93,8 SEK/kg
Sträckgräns	43,2 - 52,8 MPa	Återvinningsbar	Utmärkt
Brottgräns	133 - 162 MPa	Hållbarhet (saltvatten)	Begränsat
Brottseghet	9 - 10,9 MPa M ^{1/2}	Hållbarhet Marina miljöer	Acceptabelt
Formbarhet	Acceptabelt	UV-ljus	Acceptabelt

Koldioxidavtryck (primärproduktion)	0,523 - 0,578 kg/kg	Brandsäkerhet	Nej
--	---------------------	---------------	-----

Tabell 4. Materialegenskaper för trä

3.3.2 Betong

Betong är ett kompositmaterial som består av en cementbaserad pasta, vatten och ballast, där ballasten består av sten, grus och sand (Ashby & Hao, 2017). Denna blandning har egenskapen att vara en formbar vätska som kan ges nästan vilken geometrisk form som helst. Cement är den huvudsakliga ingrediensen i betong och det vanligaste cementet som används är Portlandcement (PC). Användningen av betongliknande material sträcker sig tillbaka flera hundra år f.Kr., men det var först under senare tid som betongen utvecklades till det material vi känner till idag.

Betong är ett av de äldsta byggmaterialen och används inom en rad olika infrastrukturprojekt, inklusive byggnader, grundläggning, stommar, broar och markbeläggningar. Årligen används det 30 miljarder ton betong i världen, vilket är tre gånger mer än för 40 år sedan (Nature, 2021). Materialet har en densitet på cirka $2,4 \text{ g/cm}^3$ och utmärker sig genom sin höga motståndskraft mot kompression, vilket innebär att det har en hög tryckhållfasthet. Däremot har betongen en begränsad förmåga att motstå böjning, vilket resulterar i en låg draghållfasthet. Dessa mekaniska egenskaper gör betongen särskilt lämplig för konstruktioner som byggnadsgrunder. För att förstärka materialet kan armering användas för att öka konstruktionens hållfasthet mot drag-, tryck- och skjuvbelastningar samt för att motverka sprickbildning. Följande är några fördelar med att använda betong (Svensk Betong, u.å):

- Hög återvinningsgrad, upp till 100%
- God fuktbeständighet
- Mögelfritt
- Brandsäkert
- Ljudabsorberande
- Lufttätt och energieffektivt
- God formbarhet
- Hög mekanisk hållfasthet
- Utomordentlig beständighet i olika miljöer (till exempel saltvatten eller cyklisk frysning och upptining)
- Lång livslängd, minst 100 år

Det är viktigt att notera att betongmaterial kan variera beroende på sammansättning och specifika tillsatser. Nedan sammanfattas betongens hållbarhetsegenskaper utifrån Jim Kim Jongs diagram i för-byggnadsfas, byggnadsfas och efter-byggnadsfas.

Manufacturing Process	Building Operations (OP)	Waste Management (WM)
-----------------------	--------------------------	-----------------------

(MP)		
-	-	-
-	EE	R
RC	-	-
-	NT	-
-	RES	
-	LL	

Tabell 5. Green-features diagram för armerad betong

Enligt tabell 5 har armerad betong totalt 6 hållbara egenskaper som vardera förklaras nedan (Susanto & Lubis, 2018).

För-byggnadsfas

- (WR-): Tillverkningsprocessen för både cement och betongblandning är lång och komplex, vilket leder till betydande avfall.
- (P2-): Tillverkningen av cement, betongblandning och armeringsstål leder till höga nivåer av luft-, vatten- och markföroreningar.
- (RC+): Ballast från betong kan vara återanvänt från nedmalt betong.
- (EER-): Cement har höga kostnader i form av energi vid produktion.
- (NM): Betong klassas som ett icke-naturligt material eftersom det delvist består av cement.

Byggnadsfas

- (CWR): Processen av att mixa och gjuta betong under konstruktionen genererar mycket avfall.
- (EE+): Montering av betong under konstruktion kräver inte mycket energi eftersom det vanligtvis görs manuellt.
- (WTC-): Användningen av vatten som används för att blanda cement och sand vid montering av betong under konstruktion, påverkar vattenkvaliteten runt platsen.
- (NT+): Betong klassas som ett giftfritt byggnadsmaterial.
- (RES+): Betong innehåller ämnen med låg värmeledningsförmåga, vilket är tillräckligt för att hjälpa prestandan hos passiva kylmekanismer.
- (LL+): Betong är ett material med mycket hög hållbarhet, mycket tålig och har en mycket lång livslängd.

Efter-byggnadsfas

- (RU-): Begagnade betong kan inte återanvändas i andra byggnader.
- (R-): Betong kan malas ned och återanvändas som ny ballast eller till vägar.

- (B-): Betong bryts inte ner naturligt när den kastas i marken.
- (O-): Betong kategoriseras som ett icke-lokalt och icke-förnybart material

3.3.2.1 Materialegenskaper

Tabell 6 redovisar materialegenskaperna för betong för plattformskonstruktioner i marina miljöer. Datan är hämtad från Granta Edupack och syftar till att ge en överblick av materialets prestanda.

Densitet	2,2 - 2,6 g/cm ³	Energiåtgång (primärproduktion)	0,78 - 0,86 MJ/kg
Y-modul	15 - 25 GPa	Vattenåtgång	3,23 - 3,57 l/kg
Tryckhållfasthet	13,3 - 30 MPa	Pris	0,872 - 1,05 SEK/kg
Sträckgräns	1 - 1,2 MPa	Återvinningsbar	Utmärkt
Brottgräns	1,1 - 1,3 MPa	Hållbarhet (saltvatten)	Acceptabelt
Brottseghet	0,35 - 0,45 MPa M ^{1/2}	Hållbarhet Marina miljöer	Utmärkt
Formbarhet	Acceptabelt	UV-ljus	Utmärkt
Koldioxidavtryck (primärproduktion)	0,11 - 0,12 kg/kg	Brandsäkerhet	Utmärkt

Tabell 6. Materialegenskaper för betong

3.3.2.2 Armerad betong

Armerad betong innebär en konstruktion bestående av betong och ett förstärkande material, vanligtvis armeringsstål. Genom att bädda in stålstänger i betongen förstärks materialet (Xian, Alajarmeh, Manalo, Benmkrande, Gharineiat, Ebrahimzaadeh, Sorbello & Weerakoon, 2023). Detta används i stor utsträckning inom marina miljöer. Stålet är ett effektivt och kostnadseffektivt material för armering, eftersom betongen har en begränsad draghållfasthet. Dock är korrosion av stålet oundvikligt i fuktiga klimat, vilket påverkar materialets långsiktiga hållbarhet. Genom nya undersökningar, bland annat i Australien, har det visats att de flesta betongkonstruktioner som är designade för att ha en livslängd på 100 år började försämrans redan efter 30 år, särskilt de som byggts i kustnära miljöer. För att förlänga livslängden för dessa strukturer krävs optimerade detaljkonstruktioner och olika antioxidanttekniker. Trots detta krävs fortfarande korrigerande reparationer, rehabilitering och underhåll för att uppfylla dagens förväntningar på livslängd, vilket innebär betydande kostnader. De årliga globala kostnaderna för reparationer och stilleståndstid till följd av stålkorrosion överstiger 1,8 miljarder USD (Schmitt, Schütze & Hays 2009).

Fiberförstärkta polymerer (FRP) har väckt forskarnas intresse som ett alternativt material till stål i utmanande havsmiljöer på grund av deras höga draghållfasthet, låga vikt, långvariga hållfasthetsegenskaper och korrosionsbeständighet (Xian, Alajarmeh, Manalo, Benmkrande, Gharineiat, Ebrahimzaadeh, Sorbello & Weerakoon, 2023). Ett sådant material är glasfiberförstärkt polymer (GFRP), som föredras på grund av dess lägre kostnad. Tillverkningen av GFRP-stänger genererar betydligt mindre ekonomiska och miljömässiga fotavtryck än stålstänger, som är energikrävande att producera och bidrar med cirka 8 procent av de globala växthusgasutsläppen. Det finns många framgångsrika tillämpningar av GFRP-stänger i saltmiljöer som visar det effektiva användandet av detta material i armerade betongkonstruktioner. Exempel på sådana tillämpningar inkluderar brodäck, vägbeläggningar, lagringstankar och olika marina strukturer.

3.3.2.3 Miljöaspekter / LCA

Trots materialets egenskaper och dess breda användningsområde har det en negativ påverkan, särskilt med avseende på dess koldioxidavtryck. Produktionsstadiet utgör den största miljöpåverkan under hela betongens livscykel. En sammanfattning av betongens livscykel, enligt Svensk Betong (2018), presenteras nedan

Produktionsskede

Den betydande klimatpåverkan hos betong, motsvarande 90 procent av det totala utsläppet, härstammar huvudsakligen från tillverkningen av cementklinker, en intermediär produkt vid cementframställning. De återstående utsläppen genereras av transporter, betongtillverkning samt användning av andra delmaterial såsom ballast, vatten, tillsatser och kemikalier. Inom transportkategorin inkluderas både transport av råmaterial till och inom fabriken samt leverans av betong till byggplatserna. Vid själva tillverkningsprocessen förbrukas elektricitet för uppvärmning.

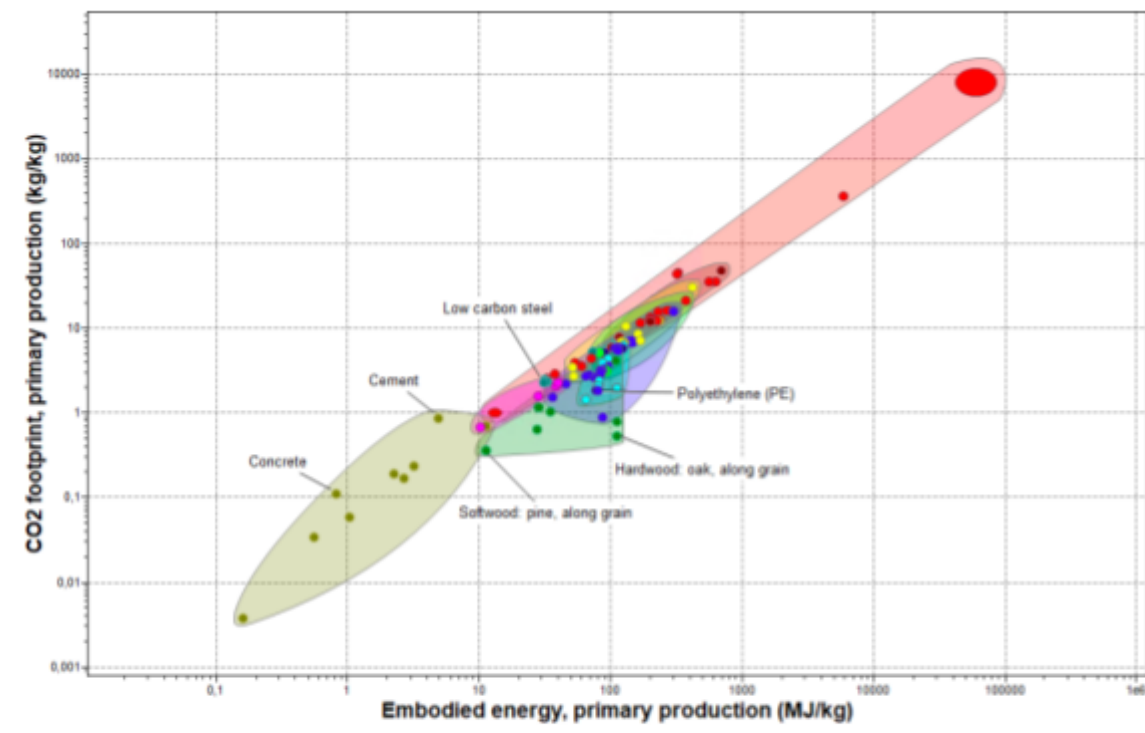
Driftskede

Under driftfasen sker en absorption av koldioxid genom en kemisk process som benämns karbonatisering. Denna process inträffar kontinuerligt under hela betongens livslängd, och i Sverige upptar befintliga betongstrukturer omkring 300 000 ton koldioxid, beroende på ytexponering. Denna absorption spelar en väsentlig roll då den motsvarar cirka 15-20 procent av de koldioxidutsläpp som genereras under produktionsfasen. Dessutom har betongen termiska egenskaper som gör att en betongbyggnad har förmågan att lagra värme och kyla, vilket är fördelaktigt både för hushåll och miljön.

End-of-life

Eftersom betong består av naturliga råmaterial och inte innehåller ämnen som klassificeras som farliga för människor eller miljön kan det återvinnas. Vanligtvis används det som fyllnadsmaterial, till exempel i vägar. Med hänsyn till principen om cirkulärt flöde kan

betong också återanvändas som ballastmaterial i ny betong. För närvarande är betong fullt återvinningsbart med en potential på upp till 100 procent återvinning.



Figur 13. Koldioxidutsläpp (kg/kg) - Energiåtgång (MJ/kg)
Granta EduPack (2023)

Figur 13 redovisar en graf, från programvaran Granta EduPack (2023), av koldioxidutsläpp från olika material i förhållande till energiåtgången som krävs under den primära produktionen. Enligt grafen har betong betydligt större konkurrensfördelar än bland annat olika trämaterial.

3.3.3 Cement

Åtminstone 8 procent av de totala utsläppen från mänsklig aktivitet kan tillskrivas cementindustrin (Ashby & Hao, 2017). Huvuddelen av dessa utsläpp genereras under tillverkningsprocessen av cement, där förbränning av fossila bränslen används för att upphetta en blandning av kalksten och lera till temperaturer uppemot 1 400°C. Produktionen av en ton cement resulterar i utsläpp av cirka 622 kg CO₂. Särskilt förbränningen av fossila bränslen i samband med kalciumreaktionen är ansvarig för frisättningen av koldioxid. Om inga förändringar i cementindustrin äger rum förväntas de globala CO₂-utsläppen från cementindustrin nå upp till 5 miljarder ton per år år 2050 (Ashby & Hao, 2017).

För att minska dessa utsläpp kan cement delvis ersättas med andra industriella biprodukter som har lägre koldioxidavtryck. Enligt Ashby och Hao (2017) är ett sådant alternativ att använda masugnsslagg, som är restprodukter från järn- och stålindustrin, eller pulveriserad

flygaska (PFA) från kolkraftverk. En ytterligare ersättning för Portlandcement (PC) kan vara reaktivt MgO-cement.

Kolavskiljning och lagring (CCS) kan vara en del av övergången inom cementindustrin, där CO₂ från cementfabriker fångas upp och lagras under jord (Nature, 2021). En annan möjlighet är att injicera infångad CO₂ i betongmaterialet för att lagra det, vilket potentiellt kan förbättra materialets egenskaper. Den injicerade CO₂ reagerar med kalciumjoner i cementet och producerar ytterligare kalciumkarbonat, vilket stärker betongens hållfasthet och möjliggör högre belastningar på konstruktionen. Forskare undersöker också möjligheten att sänka den nödvändiga temperaturen vid tillverkningen av cement för att minska energiförbrukningen (Ashby & Hao, 2017). Vid upphettning av kalksten och lera kan alternativa bränslen med låga koldioxidutsläpp användas, såsom väte eller biomassa. Det pågår även forskning om att eliminera förbränningsprocessen helt och ersätta den med elektrisk upphettning.

Det är en lång väg kvar att gå, men historiken inom cementindustrin visar att koldioxidutsläppen per ton cement minskade med 25 procent mellan 1998 och 2013 genom ökad användning av icke-fossila bränslen och substitut för cement (Ashby & Hao, 2017). Enligt Svensk Betong (2018) arbetar den svenska cementindustrin mot målet att uppnå netto noll koldioxidutsläpp under betongens hela livscykel senast år 2023.

3.3.3.1 Materialegenskaper

För att få en överskådlig förståelse av cementens egenskaper redovisas dem i tabell 7 nedan.

Densitet	1,8 - 2,2 g/cm ³	Energiåtgång (primärproduktion)	4,63 - 5,13 MJ/kg
Y-modul	40,2 - 41,6 GPa	Vattenåtgång	35,1 - 38,8 l/kg
Tryckhållfasthet	18,7 - 20,7 MPa	Pris	0,872 - 1,05 SEK/kg
Sträckgräns	1,9 - 2,1 MPa	Återvinningsbar	Utmärkt
Brottgräns	1,9 - 2,1 MPa	Hållbarhet (saltvatten)	Acceptabelt
Brottseghet	0,35 - 0,45 MPa M ^{1/2}	Hållbarhet Marina miljöer	Utmärkt
Formbarhet	Utmärkt	UV-ljus	Utmärkt
Koldioxidavtryck (primärproduktion)	0,843 - 0,913 kg/kg	Brandsäkerhet	Utmärkt

Tabell 7. Materialegenskaper för cement

3.3.3.2 Flygaska

Kolkraftverk eldar pulveriserat kol vid en temperatur av 1400 °C (Ashby & Hao, 2017). En biprodukt av denna process är flygaska, som avlägsnas genom filtrering tillsammans med rökgaserna och lagras utan att kräva ytterligare energi eller bidra till koldioxidutsläpp. Genom att ersätta 50 procent av cementet med flygaska kan både energiförbrukningen och koldioxidutsläppen minska med upp till 35 procent. Det bör dock noteras att betong med flygaska-cement tar längre tid att härda än betong som är baserade på Portlandcement (PC). Trots detta visar forskning att betongens prestanda över tid är likvärdig eller till och med bättre när flygaska används som ersättning. Mekaniska egenskaper såsom draghållfasthet, böjållfasthet och E-modul påverkas inte av detta materialbyte. Dessutom är flygaska vanligtvis prissatt till cirka 75 procent av priset på Portlandcement.

3.3.4 Stål

Stål, som inte är en naturlig råvara, består av en blandning av järn och kol, och innehåller även små mängder kisel och mangan (Jernkontoret, 2021). Tillverkningen av stål innebär att järnmalm bryts från gruvor, mals ned och reduceras till råjärn i högtemperatursugnar. Denna process kräver betydande mängder energi, kol och fossila bränslen, vilket resulterar i utsläpp av växthusgaser som koldioxid, metan och lustgas. Stålproduktionen har därmed en betydande miljöpåverkan på grund av de höga energikraven och utsläppen av växthusgaser och andra föroreningar som genereras under processen. Dessutom medför produktionsprocessen höga kostnader för materialet.

Stålets hårdbarhet är beroende av dess kolhalt (Jernkontoret, 2021). För att stål ska kunna hårdas och bli mer beständigt måste kolhalten överstiga 0,4 procent. I havsmiljöer tenderar stål att korrodera, vilket kräver användning av rostfritt stål. För att stålet ska vara rostfritt behöver det också innehålla cirka 18 till 20 procent krom och cirka 8 till 10 procent nickel. Denna sammansättning skapar ett skyddande skikt som förhindrar korrosion.

Stål är unikt på grund av flera faktorer som gör det till ett eftertraktat material inom industrin (Jernkontoret, 2021). En av dess främsta fördelar är dess formbarhet, vilket innebär att materialet kan formas och anpassas till olika former och storlekar utan att förlora sin strukturella integritet. Med en densitet på cirka 7,8 g/cm³ och hög tryckhållfasthet kan stål motstå tunga belastningar och höga krafter utan att deformeras eller brytas. Detta gör stål till ett idealt material för tillämpningar där styrka och hållbarhet är avgörande faktorer, som inom fordonsindustrin. Stålets sträckgräns är hög, vilket innebär att det kan töjas ut utan att spricka eller brytas. Detta är särskilt användbart inom byggindustrin och andra tillämpningar där materialet utsätts för betydande sträckning.

3.3.4.1 Materialegenskaper

Tabell 8 redovisar materialegenskaperna för stål utifrån ett konstruktionsperspektiv av en flytande plattform. Datan från Granta Edupack gäller för rent stål. Vid användning i marina sammanhang är rostfritt stål ett utmärkt val för att uppnå exempelvis hållbarhet i saltvatten. Det är viktigt att notera att rostfritt stål innebär högre kostnader.

Densitet	7,8 g/cm ³	Energiåtgång (primärproduktion)	30,8 - 34 MJ/kg
Y-modul	200 - 220 GPa	Vattenåtgång	45 - 49 l/kg
Tryckhållfasthet	376 - 929 MPa	Pris	6,08 - 6,41 SEK/kg
Sträckgräns	376 - 929 MPa	Återvinningsbar	Utmärkt
Brottgräns	591 - 1,19 e3 MPa	Hållbarhet (saltvatten)	Begränsat
Brottseghet	32 - 71,9 MPa M ^{1/2}	Hållbarhet Marina miljöer	Begränsat
Formbarhet	Utmärkt	UV-ljus	Utmärkt
Koldioxidavtryck (primärproduktion)	2,26 - 2,49 kg/kg	Brandsäkerhet	Brinner ej (förlorar egenskaper)

Tabell 8. Materialegenskaper för stål

3.3.5 Polyeten

Högdensitetspolyeten (HDPE) är ett av de mest använda materialen i tillverkningsindustrin idag (Arete Industries, 2022). Det används i sin rena form och kan återvinnas för att skapa nya produkter. Dessutom kan HDPE återanvändas för att skapa kompositmaterial. HDPE klassificeras som typ 2-plast och betraktas därför som en mer miljövänlig plast eftersom den främst består av återvunna konsumtionsprodukter och är återvinningsbar vid slutet av sin livslängd.

Polyeten, en typ av plast, kan användas för tillverkning av flytkroppar i vatten. HDPE är en termoplast som är extremt stark i förhållande till sin låga densitet tack vare sina molekylära förgreningar (Muhammad, H, M, S. et al., 2021). En av de främsta fördelarna med polyeten är dess höga motståndskraft mot kemikalier och korrosion (Ståhlfors & Öberg, 2012). Detta gör materialet till en idealisk kandidat för användning i vattenrör, tankar och andra applikationer där kontakt med kemikalier eller korrosiva ämnen är sannolik. HDPE har också bättre prestanda vid exponering för solljus jämfört med andra typer av polyeten, även om det över tid kan brytas ned vid kontinuerlig exponering. För att förhindra detta tillsätts stabilisatorer och antioxidanter vid tillverkning. Nedbrytningen beror på exponeringen för solljus. En annan fördel med HDPE är dess relativa enkelhet att bearbeta och forma.

Materialet kan formas till olika former och storlekar med hjälp av olika tekniker, såsom gjutning, extrudering och formning. Dessutom är materialet mycket tåligt mot stötar och slag, vilket gör det lämpligt för användning i olika applikationer som utsätts för tuffa förhållanden.

Trots att HDPE är ett starkt material är det också relativt flexibelt, vilket gör det lämpligt som flytkroppar. Dess låga densitet gör att det enkelt kan flyta på vattenytan samtidigt som dess höga styrka och motståndskraft gör det idealiskt för att klara av de utmanande förhållanden som uppstår i havet.

Som med de flesta material har HDPE också nackdelar, framför allt dess miljöpåverkan (Wallman och Nilsson, 2011). Polyeten är inte naturligt nedbrytbart, vilket kan leda till nedskräpning – plast i havet är ett välkänt problem idag. Materialet har också en negativ inverkan på klimatet på grund av hög energiförbrukning och utsläpp från både tillverkning och förbränning. Detta gäller dock generellt för alla plaster och är svårt att undvika.

3.3.5.1 Materialegenskaper

Nedan i tabell 9 redovisas materialegenskaper för polyeten från Granta Edupack.

Densitet	0,94 - 0,96 g/cm ³	Energiåtgång (primärproduktion)	76,1 - 83,9 MJ/kg
Y-modul	0,621 - 0,896 GPa	Vattenåtgång	55,3 - 61,1 l/kg
Tryckhållfasthet	19,7 - 31,9 MPa	Pris	12,2 - 12,6 SEK/kg
Sträckgräns	17,9 - 29 MPa	Återvinningsbar	Utmärkt
Brottgräns	20,7 - 44,8 MPa	Hållbarhet (saltvatten)	Utmärkt
Brottseghet	1,44- 1,72MPa M ^{1/2}	Hållbarhet Marina miljöer	Utmärkt
Formbarhet	Utmärkt	UV-ljus	Begränsat
Koldioxidavtryck (primärproduktion)	1,77 - 195 kg/kg	Brandsäkerhet	Nej

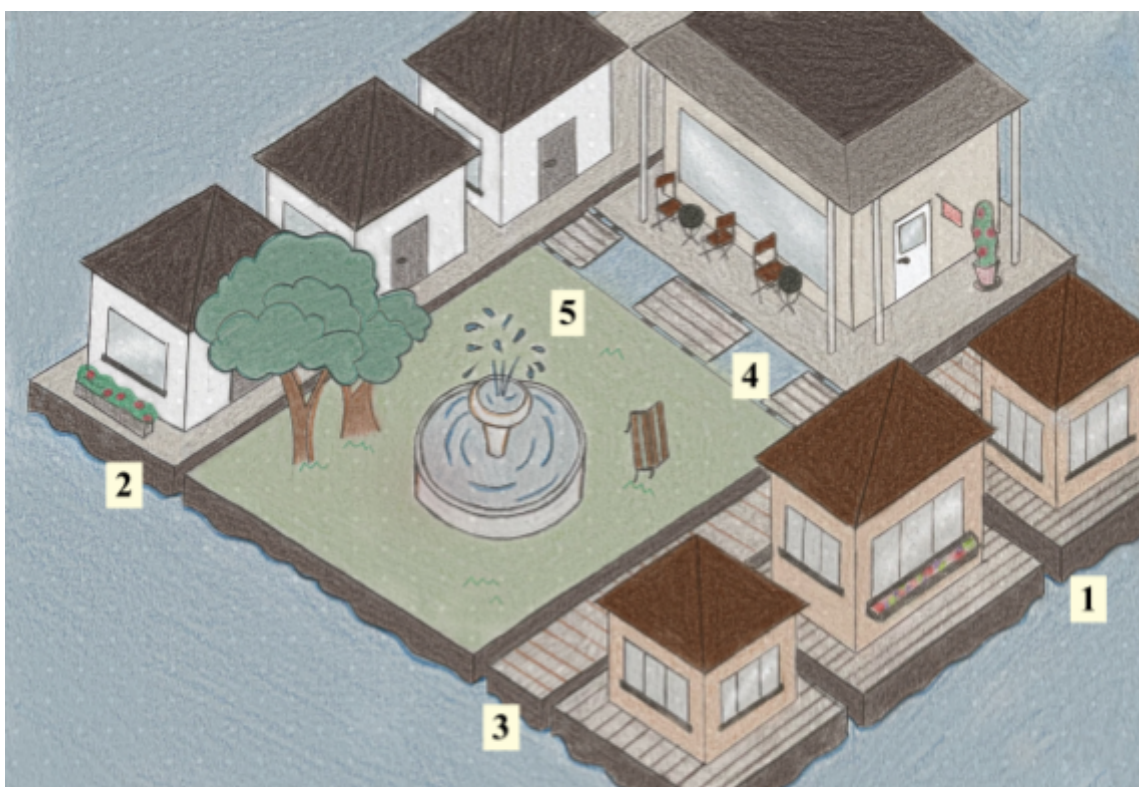
Tabell 9. Materialegenskaper för Polyeten

3.4 Kopplingar för flytande plattformar

Floating Gothenburg har som mål att skapa ett levande kvarter eller samhälle på vattnet, där olika plattformar kan placeras och organiseras på olika sätt. En önskvärd lösning är att använda modulära system, vilket möjliggör flexibilitet och omdirigeringar. Samhället kan bestå av flera plattformar med olika funktioner och verksamheter. I Figur 14 visas hur dessa plattformar med olika syften kan utnyttjas och kopplas samman.

För att skapa ett kvarter kan hus och byggnader för boende placeras bredvid varandra (alternativ 1) och i vissa fall kan de även ankas fast vid fastlandet, exempelvis i hamnar. Dessa hus skulle vara placerade på separata flytande plattformar. En annan möjlighet är att skapa en enda stor plattform som kan bära flera hus (alternativ 2). För att underlätta rörelse i samhället kan vägar eller trottoarer placeras mellan plattformarna (alternativ 3), vilket ger invånarna möjlighet att förflytta sig fritt. Dessutom kan broar byggas mellan två plattformar för att koppla samman dem (alternativ 4).

För att skapa en trivsamt och levande livsmiljö där invånarna kan umgås är det också viktigt att skapa gemensamma platser som parker och restauranger. Dessa platser spelar en central roll för att främja gemenskap och trivsel i samhället.



*Figur 14. Illustration av flytande samhälle
Författarens egna bild*

För att säkerställa att husen håller sig på plats behövs de ankas fast i både fastlandet och i varandra för att skapa ett sammanhängande samhälle. Genom att koppla samman husen ökar också deras stabilitet och hållbarhet (Witsen, 2013). Större hus tenderar att vara mer stabila än mindre hus, och i Waterbuurt har man till exempel bultat samman de mindre husen i par eller grupper om tre för att öka stabiliteten. Genom att koppla husen samman tiodubblas deras stabilitet.

I detta avsnitt undersöks olika lösningar för att koppla samman flytande plattformar med varandra och med kajer. Forskningen syftar till att hitta effektiva och säkra metoder för att skapa en stark och sammanhängande struktur mellan plattformarna och hamnar

3.4.1 Plattform och kaj

Pollare, även kända som förtöjningspollare, spelar en avgörande roll för att säkert fästa flytande plattformar vid en kaj (YS Marines, 2022). Dessa robusta och pålitliga stolpar är nödvändiga för att hålla plattformarna på plats och förhindra att de driver iväg eller kolliderar med andra fartyg eller strukturer. Pollarna tillverkas vanligtvis av starka material som stål eller betong och förankras antingen i marken eller på kajen för att ge stabilitet och motståndskraft mot de krafter som uppstår vid förtöjning. Det finns olika typer av pollare, såsom T-bollard, kidney-shaped bollard, cleats, double bitt bollards, single bitt bollard och pillar bollards, som varierar i storlek och form beroende på behoven.

För att förtöja en flytande plattform vid en kaj används förtöjningslinor eller rep (YS Marines, 2022). Dessa linor tillverkas vanligtvis av slitstarkt syntetiskt material eller stålwire och är noggrant dimensionerade för att klara av de belastningar som uppstår under förtöjning. För att genomföra förtöjningen på rätt sätt är det viktigt att placera förtöjningslinorna korrekt runt pollarna. Ofta används flera linor för att fördela krafterna jämnt och säkra plattformen från olika vinklar. Förtöjningslinorna bör vara tillräckligt spända för att förhindra onödigt slitage och rörelse, samtidigt som de tillåter en viss flexibilitet för att absorbera eventuella stötar eller rörelser från vågor eller strömmar. Användningen av elastiska förtöjningslinor kan också vara fördelaktig för att minska belastningen på både pollare och plattform.

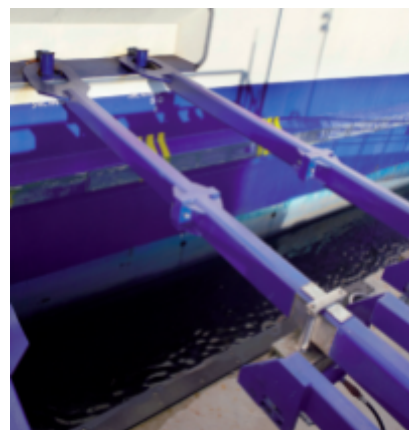
Förutom pollare och förtöjningslinor kan andra komponenter som förtöjningsfjädrar, klampar och snabbkopplingar användas för att underlätta förtöjningsprocessen och göra den mer effektiv och säker (YS Marines, 2022). Korrekt förtöjning av flytande plattformar vid en kaj är av yttersta vikt för att säkerställa stabilitet och säkerhet. Genom att använda robusta pollare och lämplig förtöjningsutrustning kan man skapa en pålitlig förtöjningslösning som möjliggör säker hantering av flytande plattformar och minimerar risken för olyckor eller skador.

En annan möjlig lösning är att använda automatiska förtöjningssystem för att förtöja flytande plattformar vid en kaj. Dessa system använder avancerad teknik för att mekaniskt och autonomt förtöja fartyg eller plattformar utan behov av manuell intervention (TTS Port Equipment AB, 2012). Automatiska förtöjningssystem består vanligtvis av förtöjningsenheter på kajen och motsvarande förtöjningsanordningar på fartyget eller plattformen. Förtöjningsenheterna på kajen eller plattformen fungerar som automatiska pollare och kan vara antingen fasta eller rörliga beroende på systemets design. När fartyget eller plattformen närmar sig låses förtöjningsanordningarna automatiskt fast med förtöjningsenheterna på kajen eller plattformen.

Automatiska förtöjningssystem erbjuder flera fördelar. De kan öka effektiviteten och snabbheten i förtöjningsprocessen genom att eliminera behovet av manuell hantering av förtöjningslinor och snabbkopplingar (TTS Port Equipment AB, 2012). Dessutom minskar de risken för mänskliga fel och skador under förtöjning. Automatiska förtöjningssystem kan även förbättra arbetsförhållandena genom att minska behovet av manuell arbetskraft vid förtöjning. De bidrar också till att minimera skador på både fartyget eller plattformen och kajen eller förtöjningsanläggningen genom att erbjuda en mer kontrollerad och exakt förtöjningsprocess. Det är viktigt att notera att design och funktionalitet för automatiska förtöjningssystem kan variera mellan tillverkare och specifika användningsområden. Därför är det viktigt att utvärdera och anpassa systemet efter de specifika kraven och förhållandena på förtöjningsplatsen och plattformen.

3.4.1.1 Semi-automatic mooring

Jämfört med traditionella arrangemang kan operationer utföras betydligt snabbare med hjälp av halvautomatiska förtöjningar. TTS halvautomatiska är konstruerad för att hålla fartyget nära fendrarna med en förtöjningskraft som kan anpassas efter vind- och miljöförhållanden vid varje given tidpunkt (TTS Port Equipment AB, 2012). Systemet kräver att en bollard och en fördjupning monteras på fartyget. En indikatorpanel med en larmfunktion kan enkelt monteras på fartygets brygga för att besättningen ska kunna övervaka säker förtöjning av fartyget. När fartyget är på plats använder operatören en joystick för att styra en förtöjningsarm som ansluter till bollarden på fartygets sida. När förtöjningsarmen är på plats byter operatören till automatisk förtöjningsläge. Förtöjningsenheten följer sedan fartygets rörelser med tidvatten och djupgående variationer samtidigt som den håller sig nära fendrarna. Larmsystemet aktiveras vid tidpunkten för fartygets förtöjning. När fartyget är redo att avgå släpper operatören mekanismen igen med hjälp av joysticken. Figur 15 visar hur TTS:s halvautomatiska förtöjningsenhet ser ut.



*Figur 15. TTS semi-automatic mooring
(TTS Port Equipment AB, 2012)*

3.4.1.2 Greppbaserad auto-förtöjning

Det TTS-gripbaserade automatiska förtöjningssystemet består av en vertikal styrmekanism, en vagn med en ögla och hydraulcylindrar, ett elektriskt styrsystem, ett hydraulsystem och en kontrollpanel, se figur 16 (TTS Port Equipment AB, 2012). Systemet kan utformas med en förtöjningskraft som passar olika kundkrav (ett vanligt exempel är 1000 kN). Systemet kräver att en bollard och en nedsänkning installeras ombord på fartyget.

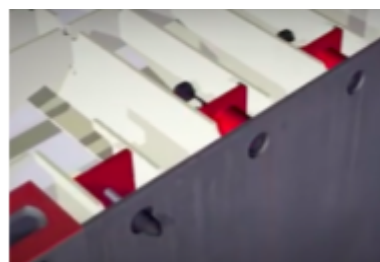
När fartyget är på plats aktiverar operatören förtöjningsproceduren med knapptryckning. Vagnen förflyttar sig till sin programmerade position, och balken med öglan pressas mot nedsänkningen på fartyget. Vagnen rör sig sedan nedåt över fartygets inbyggda bollard, varefter balken dras tillbaka och förtöjningskraften aktiveras för att säkra fartyget. Vagnen följer sedan fartygets rörelser. Larmsystemet aktiveras vid tidpunkten för fartygets förtöjning. När fartyget är redo att avgå släpper operatören förtöjningen med en knapptryckning på kontrollpanelen. Balken trycks tillbaka mot nedsänkningen och vagnen förflyttar sig uppåt för att släppa bollarden. När balken har återgått till sin retraherade position kan fartyget avgå och vagnen återgår till sin parkerade position.



Figur 16. TTS Grip-based auto-mooring
TTS Port Equipment AB (2012)

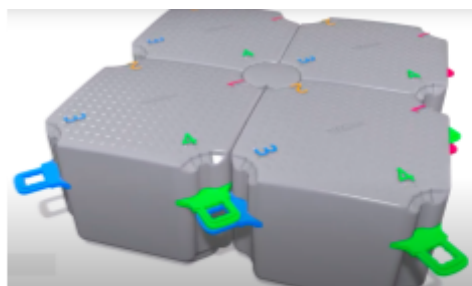
3.4.2 Plattform och plattform

För att fästa två plattformar bredvid varandra kan liknande lösningar från kopplingar för modulpontoner appliceras. I en instruktionsvideon (Modular Pontoon Systems BV, 2020) visar MPS hur de använder sig av kopplingsbultar för att fästa två ytor från pontonerna mot varandra, se figur 17. Bultarna fästs inifrån vardera ponton och spänns fast mot varandra. Det gäller dock att få pontonerna exakt bredvid varandra och hålla fast dem tillsammans för att underlätta monteringen.

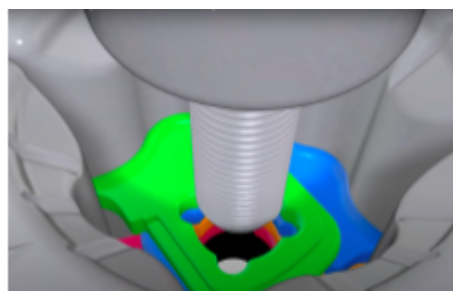


Figur 17. Hopsättning med kopplingsbultar
Modular Pontoon Systems BV (u.å)

En annan lösning är att skapa plattformarna enligt pontonerna i figur 18a, dvs en fyrhörnig plattform vars kanter är utskärda av en fjärdedels cirkel (BulDock, 2018). Fyra plattformar kommer tillsammans bilda en cirkel där en bult kan koppla samman alla fyra komponenter genom metallöglorna (se figur 18b). Bultskallen smälter in med resterande pontoner och kan även produceras med solpanelsljus på.



Figur 18 a. Modulsystem med järnkopplingar
BulDock (2018)

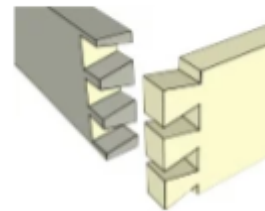


Figur 18 b. Låsenhet för modulsystem
BulDock (2018)

Det finns även lösningar som inte kräver mekaniska fästelement. Figur 19 visar en ponton vars sidor har utskärda mönster som möjliggör ihopsättning med en annan identisk pontonmodul. Dessa kopplas samman med hjälp av en tredje del som låser fast pontonerna. En liknande låsfunktion har utnyttjats även med olika trämaterial där laxstjärtsfogar är en känd metod (Tools Today, u.å). Dessa fogar mellan två trädelar är kända för sin starka motståndskraft mot isärdragning och möjliggör en stark och långvarig passform. En laxstjärtsfog består av två delar: svansar och pinnar, se figur 20. Pinnarna passar in mellan svansarna och skapar en fog som är omöjlig att dra isär åt ett håll. Genom att använda lim och ordentligt klämma samman fogarna blir det omöjligt att dra isär dem även åt det andra hållet. Det finns flera olika sorters laxstjärtsfogar såsom through dovetail, half-blind dovetail och sliding dovetail. De är dock svåra att markera och skära ut och om det inte görs ordentligt kan dess fördelaktiga egenskaper förloras. Det finns flera olika sorters wood joinery, dvs. att låsa trä. Metoderna innebär dock permanent fogning vilket inte passar bra för modularitet.



*Figur 19 Ponton med lås-funktion
DarellsDocks (u.å)*



*Figur 20. Laxstjärtsfog
Tools Today (u.å)*

Mellan plattformarna kan även gångjärn utnyttjas för att förbinda två plattformar. Dess funktion skulle medföra att den ena plattformen kan röra sig i förhållande till den andra. Plattformarna har därmed en viss frihet i rörelse men fortfarande direkt påverkade av varandra. Punkt 4 i figur 14 visar utnyttjande av gångjärn vid en bro/ramp. Även långa beslag kan användas, s.k. pianogångjärn.

Som tidigare nämnt är det vanligt att använda sig av pollare för att fästa båtar och fartyg. I samma syfte används förtöjningsringar men dessa kan i detta fall utnyttjas för att binda plattformar till varandra. Rep eller linor fästs på ringarna som i sin tur fästs på plattformarna och skapar en koppling mellan dem. Detta innebär dock en rörlig koppling där plattformarna inte påverkas direkt av varandra.

4. Sammanställning av data

I följande kapitel innefattar en sammanställning av datan från litteraturstudien i form av olika tabeller för material, konstruktion och kopplingssystem.

4.1 Material

Tabell 10 redovisar huruvida de fyra olika materialen uppfyller olika krav som är nödvändiga för en applikation för plattformar på vatten. Utifrån en bedömning av tabellen har trä de flesta egenskaperna som är nödvändiga för en sådan applikation, följt av betong.

	Betong	Stål	HDPE	Trä
Hållfasthet	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller delvis	Uppfyller
Korrosionsbeständighet	Uppfyller	Uppfyller ej utan korrosionsskydd	Uppfyller	Uppfyller ej
UV-resistans	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller delvis	Uppfyller delvis
Brandmotstånd	Uppfyller	Uppfyller ej utan brandisolering	Uppfyller ej	Uppfyller ej
Hållbarhet	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller delvis	Uppfyller
Miljöpåverkan	utsläpp och energiförbrukning av cementindustrin	energiintensiva processer och utsläpp vid utvinning och produktion	energikrävande utvinning och bearbetning	Uppfyller
Energiförbrukning	Uppfyller delvis	Uppfyller ej	Uppfyller ej	Uppfyller
Återvinningsbar	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller
Transport och montering	Uppfyller ej	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller
Flytförmåga	Begränsad naturlig flytförmåga	Låg naturlig flytförmåga	Har naturlig flytförmåga	Har naturlig flytförmåga
Smidig konstruktion	Uppfyller ej	Uppfyller delvis	Uppfyller	Uppfyller
ekologisk påverkan	Uppfyller ej – uppfyller delvis	Uppfyller ej	Uppfyller delvis	Uppfyller
Ljudisolering	Uppfyller	Uppfyller ej	Uppfyller ej	Uppfyller delvis

Flexibilitet i design	uppfyller delvis	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller
Tillgänglighet (Sverige)	Uppfyller	Uppfyller	Uppfyller delvis	Uppfyller

Tabell 10. Materialens egenskaper

4.2 Båtskrov

I detta arbete diskuteras två olika konstruktionssätt, en plattform konstruerad av en stor ponton, och en plattform av pontoner som fästs i en ram och ett däck. Datainsamlingen presenterar flera olika sorters former som en plattform kan ha, med inspiration från marknaden och båtskrov. Tabell 11 sammanställer de två mest relevanta formerna för detta arbetar där platta skrov motsvarar den första nämnda konstruktionen eftersom de efterliknar varandra mest, och ponton-skrov motsvarar det andra konstruktionssättet.

	Fördelar	Nackdelar
Platta skrov	<ul style="list-style-type: none"> • Planade skrov • Stabil vid låg hastighet • Erbjuder extra utrymme • Låg kostnad på konstruktion • Idealt i lugnt vatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hög motstånd i vatten - klarar ej av höga hastigheter • Begränsad lämplighet vid vågigt vatten • Mindre manövrerbarhet och smidighet
Ponton-skrov	<ul style="list-style-type: none"> • Planade skrov • Stabil vid låg hastighet • Hög bärkraft • Smidig färd • Lämpligt för fler passagerare • Idealt i lugnt vatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindre manövererbarhet • Högre vindmotstånd • Högre kostnader • Mer komplex underhåll och risk för skador på pontonrör • Fler monteringsmoment

Tabell 11. Fördelar och nackdelar med platta- och ponton-skrov

4.3 Kopplingssystem

Tabell 12 och 13 sammanställer fördelar och nackdelar med respektive kopplingssystem mellan plattformarna, samt mellan plattform och kaj.

Plattform & plattform

	Fördelar	Nackdelar
Kopplingssystem med bultar	<ul style="list-style-type: none"> • Säkert och stabilt system 	<ul style="list-style-type: none"> • Svårt att få plattformarna i samma läge • Komplex att koppla samman

		<ul style="list-style-type: none"> • Svårt att komma åt
Modulsystem med fyra plattformar	<ul style="list-style-type: none"> • Enkelt att komma åt låsfunktion • Säkert och stabilt system 	
Låsfunktion med en extradel	<ul style="list-style-type: none"> • Enkelt att komma åt låsfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan ej tillämpas på alla material
Laxstjärtsfog	<ul style="list-style-type: none"> • Ger en mycket stabil låsfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Medför inte modularitet • Svårt att skära ut fogar
Förtöjningsring	<ul style="list-style-type: none"> • Mycket enkelt att komma åt låsfunktion • Kan justera plattformarnas avstånd från varandra 	<ul style="list-style-type: none"> • Medför inte stabilitet i samma nivå som direkta kopplingar

Tabell 12. Fördelar och nackdelar med olika kopplingssystem

Kaj & plattform

	Fördelar	Nackdelar
Manuell	<ul style="list-style-type: none"> • Låg kostnad • Simpelt, enkelt att lära sig • Flexibelt med justering av position 	<ul style="list-style-type: none"> • Risk för skador • Tar tid • Behov av erfarenhet
Automatisk	<ul style="list-style-type: none"> • Säkerhet, minimerar risk för skador • Tidseffektivt • Precision 	<ul style="list-style-type: none"> • Hög kostnad • Risk för tekniska problem • Underhåll • Kräver el • Komplexa tekniska system

Tabell 13. Fördelar och nackdelar med olika kopplingssystem

5. Analys & Diskussion

I följande kapitel analyseras informationen från studien, där materialen jämförs gentemot varandra. Dessutom diskuteras för- och nackdelar med de olika flytkropparna gällande dess former. Avsnittet innefattar även diskussion kring kopplingssystemen för plattformar.

5.1 Material

Att välja rätt material är viktigt för att uppnå hög prestanda och optimera livslängden. I följd av detta ökar även kvaliteten för inneboende. Att välja material handlar också om att minska miljöpåverkan och ta tillvara på jordens resurser genom att välja material med en cirkulär livscykel.

5.1.1 Största miljöboven: betong eller trä?

Betong och trä är två av de vanligaste materialen som används för byggkonstruktioner. Detta arbete omfattar en studie av plattformar med följande konstruktioner:

- Konstruktion 1: En enskild ponton, se figur 4.
- Konstruktion 2: Mindre pontoner, ram och trädäck, se figur 6.

Varje konstruktion använder sig av antingen trä eller betong. Jämförelsen mellan de två materialen är svår eftersom de har olika användningsområden: trä kan inte användas som flytkropp, och betong är inte lämpligt för cylindriska pontonrör. Därför används trä för konstruktion 2 och betong för konstruktion 1.

Som kapitel 3.3.1 *Trä* beskriver, är trä ett av de viktigaste materialen i byggbranschen och anses som ett bättre material för naturen jämfört med exempelvis stål och betong. Trä har dessutom många fler hållbara egenskaper än betong och har länge haft sitt rykte som ett av de miljövänligaste byggmaterialen.

Å andra sidan visar figur 13 att betong har lägre koldioxidutsläpp och kräver mindre energi vid primärproduktionen. Detta kan bero på flera faktorer, och det är svårt att förklara vilka faktorer som Granta Edupack har tagit hänsyn till i grafen. En möjlig anledning är träets låga densitet, vilket innebär att 1 kg trä tar upp en större volym än 1 kg betong. Trots att trä släpper ut mer koldioxid per vikt kan en träkonstruktion ändå vara mer miljövänlig än en betongkonstruktion på grund av att den inte väger lika mycket som en betongkonstruktion. Enligt Granta Edupack (2023) väger betong ungefär 2,4 kg/cm³, vilket är 3-4 gånger mer än trä, beroende på träslag. Utsläppen och energiförbrukningen beror på volymen material som används, vilket är kopplat till funktionskraven. Det är även möjligt att Granta inte tar hänsyn till cementindustrins utsläpp i beräkningarna av betongmaterialet, utan bara produktionsutsläppen för själva betongen.

Generellt sett är det svårt att göra en entydig bedömning om vilket material som är mest miljövänligt eftersom exakta mätvärden och korrekta beräkningar krävs. Dessutom spelar konstruktionen en avgörande roll för mängden material som används. Sammantaget visar data att trä har fler fördelar för miljön än betong. Enligt Jin Kim Jong's gröna hållbarhetsdiagram har trä 14 hållbarhetsegenskaper medan betong har 6.

5.1.2 Jämförelse av stål, polyeten och Betong

Vid konstruktionen av en flytande bostad krävs noggrann övervägning av de material som används för den flytande grunden. I detta avsnitt diskuteras fördelarna och nackdelarna med olika material som kan användas för att skapa pontoner, inklusive stål, polyeten och betong. Betong och stål är välkända för sina utmärkta mekaniska egenskaper, såsom hög draghållfasthet och långvarig hållbarhet. Dessa egenskaper gör dem lämpliga för att hantera tunga belastningar som är vanligt förekommande i en bostadskonstruktion. Polyeten, särskilt högdensitetspolyeten (HDPE), erbjuder lättviktiga egenskaper samt motstånd mot korrosion, kemikalier och UV-strålning. Det erbjuder även flexibilitet i designen på grund av dess formbara egenskaper.

När det gäller miljöpåverkan genererar betongproduktion betydande koldioxidavtryck på grund av utvinning och bearbetning av material som kalksten, samt den energiintensiva processen för cementtillverkning. Vid tillverkning krävs även stora mängder vatten, vilket kan leda till hög vattenförbrukning och eventuell avrinning av kemikalier i närliggande vattendrag. Dessutom kan produktionen av betong frigöra skadliga utsläpp, inklusive koldioxid. Det bör dock noteras att betong har fördelaktiga materialegenskaper och en mycket lång livslängd utan behov av regelbunden underhåll. Vid slutet av livscykeln kan betong återvinnas till 100 procent, men detta kan vara en utmaning på grund av svårigheter att separera cement och aggregat och återanvända dem separat.

Ståltillverkning har också en betydande miljöpåverkan, då den involverar energikrävande processer som inkluderar utvinning av järnmalm och ståltillverkning. Korrosion och rost är vanliga problem för obehandlat stål, vilket påverkar dess livslängd. För att skydda stålet mot dessa problem och förlänga dess livslängd krävs regelbunden underhåll och ytbehandlingar. Å andra sidan är stål mycket återvinningsbart, vilket minskar behovet av ny produktion och minimerar dess miljöavtryck. Bland de tre materialen är stål det dyraste på grund av produktionskostnader.

Polyeten, som framställs från icke-förnybara resurser, kräver energikrävande utvinning och bearbetning. Tillverkningsprocesserna kan involvera användning av kemikalier och lösningsmedel, vilket kan ha negativa effekter på miljön och hälsan. HDPE är dock återvinningsbart och användningen av återvunnen polyeten kan bidra till att minska behovet av jungfruliga material. Det är dock viktigt att sortera polyeten korrekt, eftersom felaktig hantering kan leda till plastföroreningar.

Vid beslutet om vilket material som är mest lämpligt för en flytande plattform är det viktigt att överväga projektets specifika krav och hållbarhetsmål. Om man prioriterar hög hållbarhet och konstruktionsstyrka är både stål och betong utmärkta val. Å andra sidan kan polyeten vara mer lämpligt om man värdesätter lättviktighet och motståndskraft mot korrosion.

Det är viktigt att komma ihåg att en helhetsbedömning av materialegenskaper, miljöpåverkan, livscykelanalys och kostnader bör göras för att fatta det mest välinformerade beslutet baserat på projektets unika behov och hållbarhetskrav. Valet av material påverkas även av vilken konstruktion som används. Vid val av en enskild stor ponton är antingen betong eller stål mest lämpligt, eftersom polyeten har för låg densitet, vilket skulle resultera i en konstruktion som är tung upptill. En sådan konstruktion kan ha svårare att motstå tuffa väderförhållanden och kan vara mindre stabil. Både betong och stål har densiteter som ger en låg tyngdpunkt och är därför mer passande för att ge flytkraft. Stål är emellertid förenat med högre kostnader, medan betong betraktas som ett av de billigaste byggmaterialen. Dessutom kräver stål regelbundet underhåll för att motverka korrosion och rost.

Samma överväganden gäller vid val av konstruktion med mindre flytkroppar, ramar och däck. I dessa fall kommer stål att vara utsatt för vatten och riskerar korrosion, medan polyeten inte har dessa problem. Dessutom är polyeten mycket billigare att tillverka än stål.

5.1.3 Rekommenderad materialval

Utifrån litteraturstudien och analys av de olika materialen är det säkert att säga att trä har de flesta fördelar gällande hållbarhet av konstruktion och miljöaspekter. I detta arbete presenteras trä vid val av konstruktionssätt 2 med pontoner, ram och däck, där trä kan appliceras för både ram och däck. Däremot kan trä även användas till ett däck för konstruktion 1 om det önskas. Enligt tabell 10 har trä flest egenskaper som är viktiga för en plattform i marina miljöer, följt av betong. Trä anses därmed som ett självklart materialval. Däremot är det viktigt att notera att trä har begränsad prestanda vid kontakt med vatten, vilket utesluter trä som materialval för ramen då denna kan komma i kontakt med vatten. Trädäcket klarar sig relativt okej utöver vattenstänk, men beror mycket på konstruktionens höjd. För ram kan rostfritt stål användas för ramen men skulle innebära en lite högre kostnad.

Betongens klimatavtryck är faktorn som försämrar dess konkurrenskraft vilket till största del kommer från cementindustrin. Vid minskad miljöpåverkan skulle betong vara ett mer passande material vilket även skulle möjliggöra för konstruktionssätt 1. För att minska på dess miljöpåverkan måste cementindustrin i sin tur minska dess klimatavtryck, eller alternativet att ersätta cement helt vid tillverkning av betong.

5.1.3.1 Hur kan betong minska klimatavtrycket?

För att minska betongens klimatavtryck krävs åtgärder för att adressera konsekvenserna av cementtillverkningsprocessen. Det finns flera olika sätt att göra detta, men det kommer att ta tid och kräva omfattande forskning. En potentiell lösning är att ersätta cement helt genom att använda slagg från järn- och stålföretag eller flygaska från kolbaserade kraftverk (Ashby och Hao, 2017). Enligt Ashby och Hao skulle användningen av flygaska kunna ersätta upp till hälften av Portlandcement (PC) och minska energiförbrukningen och koldioxidavtrycket med 30 procent. Att använda biprodukter som flygaska och masugnsslagg som substitut är ett bra exempel på cirkulär materialhantering, vilket minskar beroendet av naturliga mineraler och energi samtidigt som det minskar skadliga utsläpp. Det är dock viktigt att notera att detta inte är en hållbar lösning på lång sikt, eftersom det finns begränsade mängder kol och det finns risker med att förlita sig på biprodukter från andra branscher. Enligt Ashby och Hao kommer kolbaserade kraftverk, källan till flygaska, att avvecklas fram till 2030 enligt information från det brittiska ministeriet för miljö och klimatförändringar. Det finns även osäkerhet kring tillgången på masugnsslagg i framtiden. En möjlig lösning är att importera dessa produkter, men det skulle motverka de miljömässiga och ekonomiska fördelarna med lokal produktion av material. Trots detta kan befintliga resurser utnyttjas, även om de inte är hållbara på lång sikt. Det uppskattas att det finns över 50 miljoner ton flygaska i Storbritannien, vilket skulle täcka den brittiska cementproduktionen fram till cirka 2035.

Enligt Nature (2021) kommer cement att fortsätta användas inom industrin under lång tid framöver, vilket innebär att det är av högsta vikt att minska koldioxidutsläppen från tillverkningsprocessen. Dessutom uppfyller användningen av biprodukter inte EU:s hållbarhetsmål, vilket innebär att ytterligare minskningar måste göras. Det är därför viktigt att undersöka långsiktiga lösningar, såsom att använda el istället för förbränning vid uppvärmningsprocessen eller att implementera tekniker för att avskilja och lagra koldioxid (CCS). Dock medför CCS en betydande kostnadsökning på minst 50 procent, vilket är en viktig faktor att beakta.

5.2 Att välja form på flytkropp

Det finns olika typer av flytkroppar som kan användas för flytande hus, och vissa är mer lämpade för specifika ändamål. Miljön i ett flytande samhälle är relativt lugn i vattnet, men det kan förekomma små vågor från husen och båtar som rör sig in och ut. Båda konstruktionssätten som presenteras i arbetet ger god stabilitet, men formen på flytkropparna spelar en stor roll. Det är också viktigt att notera att om man väljer betongponton, krävs det ingen ytterligare arbete eller material för att bygga ramen och däck. Å andra sidan har betong mer komplexa tillverkningsprocesser och transporter än trä.

Arbetet presenterar olika typer av flytkroppar som kan användas för flytande hus, inklusive olika former av båtskrov. Bland dessa båtskrov är multiskrov (t.ex. katamaraner) och platta

skrov de mest stabila (se tabell 1). Pontonskrov, som representerar cylindriska pontoner enligt figur 11, anses också vara mycket stabila. Det är dock viktigt att notera att pontoner inte nödvändigtvis behöver vara cylindriska, utan de kan också vara platta, vilket motsvarar platta skrov enligt tabell 1. Dessa platta skrov passar bra i vatten där det inte finns mycket rörelse, till exempel fiskebåtar tillverkas ofta med platta skrov. Både pontonskrov och platta skrov klassificeras som planade skrov, vilket innebär att de flyter på vattenytan. Detta kan innebära stabilitetsrisker eftersom en belastning som får flytkropparna att sjunka med mer än 50 procent anses vara instabil.

Å andra sidan är deplacementskrov speciellt utformade för att fungera under vatten i viss utsträckning. Deplacementskrov är utformade för att förflytta en specifik volym vatten som motsvarar deras vikt, vilket genererar flytkraft och hjälper till att stödja båtens vikt och ge stabilitet. När mer vikt läggs på ett deplacementskrov ökar den totala vattenförskjutningen för båten, vilket ökar flytkraften och motverkar den ökade vikten, vilket bidrar till stabiliteten. Den ökade vattenförskjutningen och flytkraften hjälper till att bibehålla en lägre tyngdpunkt, vilket minskar risken för rullning eller kantring. Ett exempel på deplacementskrov är multiskrov som katamaraner, som också har fördelen av snabbhet på grund av sin förmåga att skära genom vatten och vågor. Dock är inte denna fördel nödvändig för detta byggnadsprojekt eftersom husen inte kommer att vara i rörelse.

Husen som ska placeras på plattformarna kommer att utsättas för höga belastningar, vilket gör deplacementskrov till ett stabilt val. Å andra sidan ger planade skrov också hög stabilitet i stillastående läge, vilket gäller för flytande hus. När det gäller att hantera belastningar så att flytkropparna förblir under 50 procent i vattnet kan man tillverka flytkropparna i större storlekar för att klara av högre laster.

5.3 Kopplingar

För att skapa en gemenskaplig plats och ett samhälle är det viktigt att husen och plattformarna har någon form av koppling mellan varandra och till land och kaj. Kapitel 3.4 "Kopplingar för flytande plattformar" beskriver några exempel på detta, både direkt koppling där plattformarna påverkar varandra och indirekt koppling. Ett exempel på indirekt påverkan är att använda förtöjningsringar genom att montera dem på plattformarna och sedan binda samman dem med rep. En sådan koppling kan dock vara instabil på grund av vågor och rörelser på plattformarna. Enligt Witsen (2013) ökar stabiliteten för varje plattform när de kopplas samman direkt. För att uppnå detta kan plattformarna bindas närmare varandra med kortare rep för att få en mer direkt kontakt och den stabilitet som Witsen nämner. Andra presenterade lösningar i kapitlet innebär direkt kontakt mellan plattformarna. Att koppla plattformarna med bultar, enligt figur 17, är en stabil lösning men kräver en mer komplicerad monterings- och demonteringsprocess. Modulsystem med järnkopplingar, se figur 18, och låssystem, se figur 19, är enklare system när det gäller montering och modularitet eftersom låsenheterna är mer åtkomliga. Om dessa system är lämpliga i detta sammanhang är en fråga

som kan diskuteras vidare. Valet av material för flytkropparna spelar en stor roll i detta fall. Till exempel är betong inte lämpligt för system med låsfunktioner som illustreras i figur 19 och 20. Modulsystemet med järnkopplingar kan också vara problematiskt på grund av betongens tyngd, vilket kan bli besvärligt. Däremot kan detta system fungera bra med plastpontoner.

Det sista alternativet som presenterades var låsfunktioner med trä, som laxstjärtsfogar. Som nämnts i kapitlet är dessa fogar permanenta, vilket inte möjliggör modularitet, men de ger en mycket stark koppling som kan utnyttjas mellan plattformar som alltid placeras bredvid varandra.

När det gäller förtöjning finns det numera automatiska förtöjningssystem som sparar tid och pengar på lång sikt och ger säkrare förtöjning. Det är dock en investering med höga kostnader på grund av teknologin och komplexiteten, och priserna beror också på storleken på de fartyg som ska förtöjas. I fallet med ett flytande samhälle kommer plattformarna förmodligen inte behöva omplaceras ofta, vilket innebär att förtöjningar inte behöver göras frekvent och därmed minimeras behovet av ett automatiskt system. Ett automatiskt system skulle erbjuda ökad bekvämlighet och tidsbesparingar, men systemets funktioner skulle inte kunna utnyttjas till fullo om behovet av förtöjningar inte är frekvent.

6. Slutsats

Syftet med denna rapport är att presentera en övergripelig förståelse av flytande plattformar och de olika materialval som kan utnyttjas, samt hur de kan kopplas samman med varandra för att skapa ett samhälle där människor kan leva och bo runt verksamheter såsom restauranger, kaféer arbetsplatser m.m. Arbetet har resulterat i en diskussion om potentiella materialval, där alla har höga konkurrenskraftiga egenskaper. Alla har sina fördelar och nackdelar och i slutändan överväger budget, kvalitet och preferenser. Vid val av betongponton utgör dessa oftast bara material för flytkropp, medan val mindre pontoner även innebär material och arbete av ram och ett däck. Dessa kan i sin tur vara av olika material och former. På grund av betongens utmärkta egenskaper anses betong som det lämpligaste materialet för flytande plattformar, om dess klimatavtryck reduceras. Detta skulle innebära ersättning av cement till andra industriella biprodukter. Vid val av materialet betong lönar sig även konstruktionssätt 1.

Kopplingar mellan plattformarna är väsentligt för att skapa ett samhälle med trygghet och modularitet. I kapitlet presenteras flera olika sätt att koppla ihop plattformarna genom att utnyttja både förtöjningar, låsfunktioner och automatiska förtöjningar. Vissa lösningar är mer relevanta och nyttiga för just detta projekt och dess relevans påverkas av flera faktorer såsom material, modularitet och säkerhet. Lösningförslaget med fyra plattformar som kopplas samman med hjälp av järnögglor och en bult anses som en relevant lösning som är lättillgänglig och möjliggör för modularitet.

För vidare forskning kan flera material undersökas för att få ett bredare utbud och förståelse av potentiella material och dess förmåner. Dessutom kan fler former på pontoner och flytkroppar forskas och på en djupare nivå för att komma fram till en optimal form som har ekonomiska och fysikaliska egenskaper. Gällande kopplingar är låsfunktioner ett intressant ämnesområde som kan undersökas mer. Kapitlet om kopplingar lyfter upp relevanta lösningar på hur plattformarna kan låsas fast till varandra, samt ett permanent lås i form av träfogning. Det finns idag oändligt många olika sätt att låsa trä och man har i Japan utvecklat många låsdetaljer, sk. tsugite (Teuffel, 2020). Dock har detta arbetet inte undersökt vart dessa lås kan placeras, vilket är något som kan undersökas för framtida arbeten.

Referenser

Aggarwal, V. (u.å). NLÉ MFS IIIx3 Prototype Launched in China Explores Ecological Intelligence. *Arch Daily*. Tillgänglig:

<https://www.archdaily.com/905648/nle-architects-mfs-iiix3-prototype-launched-in-china-explores-ecological-intelligence>

AlfaBryggan AB. (u.å). Plattformar på vatten för alla typer av ändamål #AlfaBryggan. Hämtad 2023-02-16, från <https://www.alfabryggan.se/kategorier/plattformar.html>

Arete Industries. (2022). *HDPE, what is it and what is it used for?*. Hämtas 2023-03-26, från <https://areteindustries.us/hdpe-plastics/>

Ashby, M., Hao, R. (2017). Sustainability Case Study: The Built Environment. *Ansys Education Division*.

Aqua Pontoons. (u.å). *How a pontoon is made and its journey to the water*. Hämtad 2023-03-22 från

<https://aquapontoons.com.au/how-a-pontoon-is-made-and-its-journey-to-the-water/>

Benders. (2019). *Tillverkningsprocess av EPS-cellplast*. Hämtas 2023-03-25, från <https://www.benders.se/benders/artikelarkiv/2015/tillverkningsprocess-av-eps-cellplast/>

Bruder, U. (2013). *Värt att veta om plast*. Karlskrona: Bruder Consulting AB.fstål

BulDock. (2018, 17 oktober). *BulDock - Modular Floating Pontoon Dock | Assembling instructions - Cube H40* [Videofil]. Hämtad 2023-05-17 från

<https://www.youtube.com/watch?v=NQmwz-jb1DA>

Byggtjänst. (u.å). *Bjälklag*. Hämtad 2023-04-03 från

<https://byggkatalogen.byggtjanst.se/byggfakta/bjalklag/98>

Callegaro, M. (2019). Houseboating in Ancient Times: Thalamegos, Lusoriae, Cubiculae and the Nemi Ships as Ancestors of Nowadays Floating Houses Trend. *IOS Press BV(3)*, 59-69. Doi: 10.3233/PMST190008

Climate Adapt. (2023). *Floating and amphibious housing*. Hämtad 2023-03-27, från

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/floating-and-amphibious-housing>

DarrellsDocks. (u.å). *Floating Docks*. Hämtad 2023-05-17 från <https://darrellsdocks.com/floating-docks/>

Dias, André M, A., Santos, Pedro G, G., Dias, Alfredo M, P, G Silvestre, José D. & de Brito, Jorge. (2022). Life cycle assessment of a preservative treated wooden deck. *Taylor & Francis Ltd, Wood Material Science and Engineering*(17), 502-512. Doi: 10.1080/17480272.2021.1897673

Dickson, M. (2017). Expert: Betong är inte alltid sämre än trä för klimatet. Sveriges Radio. Hämtad 2023-04-25 från <https://sverigesradio.se/artikel/6840544>

Freres Wood. (u.å). *Building With Wood Reduces Environmental Impact*. Hämtad 2023-04-07 från <https://frereswood.com/blog/wood-reduces-environmental-impact/>

Gauld, J. (2011). Floating foundations concrete houseboats. *Trade Journal*(45). 58-60. ISSN: 00105317.

Jernkontoret. (2021). *Råvaror*. Hämtad 2023-04-05 från <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/ravaror/>

Karlsson, J. (2009). *Husbåtar – framtidens boende med flyt* (Masteruppsats). Karlskrona: Institutionen för fysisk planering, Blekinge Tekniska Högskola. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:832198/FULLTEXT01.pdf>

Maritime Page. (u.å). *The Most Stable Hull Design Of A Boat*. Hämtad 2023-03-26 från <https://maritimepage.com/the-most-stable-hull-design-of-a-boat/>

Modular Pontoon Systems BV. (2020, 16 juli). *MPS Assembly Animation Pontoons* [Videofil]. Hämtad 2023-05-17 från <https://www.youtube.com/watch?v=HxisU6JTvck&t=84s>

Muhammad, H, M, S., Meor Y, R., Mohd F, A, R., Siti S, M, S., Mohd R, A. & Ahmad Z, M, O. (2020). Development of marine grade radiation cross-linked high density polyethylene (HDPE) floater pontoon material. *IOP publishing*(785). Doi: 10.1088/1757-899X/785/1/012033

National Ocean Service. (u.å). *Discover your world with NOAA*. Hämtas 2023-03-26 från <https://oceanservice.noaa.gov/education/dyw-boat-building.html>

Nature. (2021). Concrete needs to lose its colossal carbon footprint. Hämtas 2023-04-11 från <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02612-5>

Nguyen, T, T, T. (2021). Architectural Design Guideline for Sustainable Floating Houses and Floating Settlements in Vietnam. *LNCE*(158). 461-474. Doi: 10.1007/978-981-16-2256-4_28

NLÉ. (2023). *MAKOKO FLOATING SYSTEM - MFS™*. Hämtad 2023-03-10 från <https://www.nleworks.com/case/makoko-floating-system/>

Nyandega, Dan. (2023). The Floating ‘Urban Village’: Makoko Futures. Conde Nast Publications, Inc., *Architectural Design*(93), 112-119. Doi:10.1002/ad.2901

Ramboll. (u.å). *Varför bygga i trä?*. Hämtas 2023-03-25 från <https://c.ramboll.com/sv-se/varfor-bygga-i-tra>

Schmitt, G., Schütze, M. & Hays, G, F. (2009). *Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control*. Hämtad 2023- 05-03 från <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ab1ba355cc42bac837020f7f2d978a2c6d84bf9f>

Sorensen, E. (2014, 4 september). How different hull types react in rough water. *Soundings*. Tillgänglig: <https://www.soundingsonline.com/boats/how-different-hull-types-react-in-rough-water>

Srinivas, P. T, Dubey, M. K. & Raj, Vijay. (2020). Floating Green Buildings and Towns. *Lecture Notes in Civil Engineering*. LNCE(199). 207-2011. Doi:10.1007/978-981-16-6647-6_19.

Ståhlfors, A., & Öberg, J. (2012). *Materialegenskaper och dimensioneringsmetodik för vattenledningar (Kandidatuppsats)*. Stockholm: *Arkitektur och Samhällsbyggnad*, KTH. Tillgänglig: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:548797/FULLTEXT01.pdf>

Sudarman. (2015) Bamboo as A Material of Floating House Construction at Lake Tempe Kabupaten Wajo, Proc. National. Conf. SCAN(6). 290-296. Doi: 10.1088/1755-1315/498/1/012066

Susanto, D., Lubis, M, S. (2018). Floating houses “lanting” in Sintang: Assessment on sustainable building materials. IOP Publishing Ltd, *Earth environmental science*(126). Doi: 10.1088/1755-1315/126/1/012135

Svensk Betong. (2018). *Betong och klimat*. Hämtad 2023-04-20 från https://cms.betongarhallbart.se/wp-content/uploads/2018/11/svenskbetong_faktablad_a4_betonochklimat.pdf

Svensk Betong. (u.å). *Fakta & egenskaper*. Hämtad 2023-05-17 från <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper>

Svenskt Trä. (u.å). Materialet trä. Hämtad 2023-04-20 från <https://www.traguident.se/om-tra/materialet-tra/>

Tools Today. (u.å). *Dovetail Joints: Different Types and Their Uses*. Hämtad 2023-05-17 från <https://www.toolstoday.com/global/g-46-dovetail-joints-different-types-and-their-uses>

Teuffel. (2020). Traditional japanese wooden techniques - introduction of a practical usage and a basic interlocking joint system. Hämtad 2023-05-17 från <https://www.patrick-teuffel.eu/traditional-japanese-wooden-techniques/?lang=en>

TTS Port Equipment AB. (2012). *Auto-mooring*. Göteborg: Yumpu.

Wallman, W & Nilsson, K. (2011). *Klimatpåverkan och energianvändning från livsmedelsförpackningar*. (Livsmedelsverkets rapportserie, 2011:18). Sverige: NATIONAL FOOD AGENCY, Sweden. [Klimatpåverkan och energianvändning från livsmedelsförpackningar](#)

Witsen, P. P. (2013) *Floating Amsterdam - The development of IJburg's Waterbuurt*. Amsterdam: Techne Press

Xian, Y., Alajarmeh, O., Manalo, A., Benmkrande, B., Gharineiat, Z., Ebrahimzaadeh, S., Sorbello, C, & Weerakoon, S. (2023). Torsional behavior of GFRP-reinforced concrete pontoon decks with and without an edge cutout. *Elsevier; Marina Structures*(88). Doi: 10.1016/j.marstruc.2022.103345

YS Marines. (2022). Everything Concerning About The Mooring Bollard. Hämtad 2023-05-17 från <https://www.ysmarines.com/articles/everything-concerning-about-the-mooring-bollard/>

Bildreferenser

Omslag: Greenprint. (2019). Schoonschip Amsterdam. [Digital teckning]. Tillgänglig: Databas. <https://greenprint.schoonschipamsterdam.org/>. [2023-05-27]

AlfaBryggan AB. (u.å.). *Plattformer på vatten för alla typer av ändamål #AlfaBryggan*. [Fotografi]. Tillgänglig: Databas. <https://www.alfabryggan.se/kategorier/plattformer.html>. [2023-02-16]

BulDock. (2018, 17 oktober). *BulDock - Modular Floating Pontoon Dock | Assembling instructions - Cube H40*. [Digital bild]. Tillgänglig: Videofil. <https://www.youtube.com/watch?v=NQmwz-jb1DA> [2023-05-17]

DarrellsDocks. (u.å.). *Floating Docks*. [Bild] Tillgänglig: Databas. <https://darrellsdocks.com/floating-docks/> [2023-05-17]

Egnahemsfabriken. (u.å.). *Husbåten Anna*. [Fotografi]. Tillgänglig: Databas. <https://tjorn.egnahemsfabriken.se/byggprojekt/husbaten-anna/>. [2023-02-16]

Granta Edupack. (u.å.). *CO2 footprint - Embodied energy*. [Graf]. [2023-04-23]

Karlsson, J. (2009). *Husbåtar – framtidens boende med flyt*. [Ritning]. Tillgänglig: Arkiv. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:832198/FULLTEXT01.pdf>. [2023-02-19]

Modular Pontoon Systems BV. (2020, 16 juli). *MPS Assembly Animation Pontoons* [Digital bild]. Tillgänglig: Videofil. <https://www.youtube.com/watch?v=HxisU6JTvck&t=84s>. [2023-05-17]

Rixö Bryggan (u.å.). *Flytbryggor i betong* [Digital bild]. tillgänglig: Databas. <https://rixobryggan.se/flytbrygga/flytbryggor-i-helbetong/>. [2023-05-17]

Sorensen, E. (2014, 4 september). How different hull types react in rough water. *Soundings*. [Bild]. Tillgänglig: Databas. <https://www.soundingsonline.com/boats/how-different-hull-types-react-in-rough-water>. [2023-04-04]

Svensk Betong. (2018). *Betong och klimat*. [Diagram]. Tillgänglig: Databas https://www.svenskbetong.se/images/pdf/SV_Betong_Prod_CO2.Blad_.pdf. [2023-04-20]

Svenskt Trä. (u.å). *träprodukters kretslopp*. [Digital bild]. Tillgänglig: Databas.
<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/>. [2023-04-20]

Tools Today. (u.å). *Dovetail Joints: Different Types and Their Uses*. [Digital teckning].
Tillgänglig: Databas.
<https://www.toolstoday.com/global/g-46-dovetail-joints-different-types-and-their-uses>.
[2023-05-17]

TTS Port Equipment AB. (2012). *Auto-mooring*. [Fotografi]. Tillgänglig: Arkiv.
https://www.macgregor.com/globalassets/tts/product-sheets/auto-mooring_4page.pdf.
[2023-05-17]

Witsen, P. P. (2013) *Floating Amsterdam - The development of IJburg's Waterbuurt*.
[Fotografi]. Tillgänglig: Arkiv.
https://www.ansa.it/documents/1334931625986_AmsterdamFloating.pdf. [2023-04-04]

wwf. (2019). *Befolkningsökningen - är vi för många?*. Hämtad 2023-04-14 från
<https://blogg.wwf.se/2019/03/05/befolkningsokningen-ar-vi-for-manga/>

Xian, Y., Alajarmeh, O., Manalo, A., Benmkrande, B., Gharineiat, Z., Ebrahimzaadeh, S., Sorbello, C., & Weerakoon, S. (2023). *Torsional behavior of GFRP-reinforced concrete pontoon decks with and without an edge cutout*. [foto/ritning]. Tillgänglig: Arkiv.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951833922001812>. [2023-03-10]

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se



CHALMERS