



INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH MILJÖVETENSKAP

En jämförelse av användningsområden och kemisk sammansättning av skal från blåmusslor och stillahavssostron

Erica Linder

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet biologi

BIO603, Examenskurs i biologi, 30 hp

Grundnivå

Termin/år: Vt 2022

Handledare: Åsa Strand & Anna-Lisa Wrangé, IVL Svenska miljöinstitutet

Examinator: Sam Dupont, Institutionen för Marina Vetenskaper

Innehållsförteckning

Abstrakt	2
Nyckelord	2
Inledning	4
Syfte	7
Hypoteser	8
Material & Metoder	8
Litteraturgranskning	8
Systematisk litteraturstudie	8
Kartläggning av produkter baserat på webbsökning	9
Statistiska analyser	10
Kvalitativa intervjuer	10
Undersökning kring kemisk sammansättning och uppbyggnad av skal	11
Kemisk analys	12
Statistiska analyser	12
Resultat	13
Litteraturgranskning	13
Systematisk litteraturstudie	13
Kartläggning av produkter baserat på webbsökning	15
Statistiska analyser	17
Kvalitativa intervjuer	17
Undersökning kring kemisk sammansättning och uppbyggnad av skal	19
Kemisk analys	19
Statistiska analyser	21
Diskussion	21
Slutsats	30
Tackord	31
Referenser	31
Bilagor	38
Bilaga 1 - Kvalitetsgranskningsmall	38
Bilaga 2 - Artikelöversikt	39
Bilaga 3 - Intervjumall	42
Bilaga 4 - Sammanställning från kartläggning av produkter	43
Bilaga 5 - Svar från intervjuer	43

Abstrakt

Invasiva stillahavsostrom har etablerats i stora bestånd i svenska vatten under de senaste 16 åren. Ett förslag till hantering av dessa skulle vara bortrensning från områden där de orsakar problem, vilket skulle resultera i stora mängder avfall som måste hanteras. Det är därför viktigt att undersöka hur ostronskalen kan användas för att uppnå en ekonomiskt hållbar förvaltning. Även blåmusselindustrin i Sverige orsakar spill av skal vilka har potential att användas på samma sätt som ostronskalen. Syftet med undersökningen var att jämföra nuvarande och potentiella användningsområden för skalen av stillahavsostrom (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*) genom att undersöka och jämföra deras kemiska sammansättning samt kartlägga vilka produkter/applikationer som idag finns för skalen. Detta för att ta reda på etablerade och potentiella användningsområden för skal som resurs och därmed resursernas framtidspotential.

Metoder som använts för undersökningen var systematisk litteraturgranskning, kartläggning av produkter baserat på webbsökning, kvalitativa intervjuer med företag, litteraturbaserad undersökning av kemisk sammansättning samt en kemisk analys av skalen. Användningsområden som hittades inom tidigare forskning samt under produktsökningen var cement, betong & sten, medicin, kalciumkälla hönor, vattenrening, polypropylene, kitin, katalys biobränsle, luftrening, jordbruk, design och övrigt. Jämförelsen mellan arterna för potentiella och etablerade användningsområden visar igen signifikant skillnad. Resultatet från den kemiska analysen visar att skalens kemiska sammansättning inte skiljer sig åt signifikant men utbytbarheten av skal ändå kan påverkas av begränsningar (gränsvärden) kring kemisk sammansättning för olika användningsområden. Jämförelsen gjord med foderkalk visar stor potential för användning och utbytbarhet av skal från båda arterna. Studien är viktig för utveckling av en ekonomiskt cirkulär marknad för skal från odling, förvaltning och efter konsumtion. Att ta lärdomar från andra länder och arter är essentiellt för utformningen av en marknad för skal från stillahavsostrom i Sverige.

Nyckelord

Hållbar förvaltning; Kommersiella produkter; Sverige; Avfall; Återanvändning

Abstract

The Pacific oysters is an invasive species that has developed large stocks in Swedish waters over the past 16 years. One suggestion for handling these would be removal from areas where they cause problems, which would result in large amounts of waste having to be handled. It is therefore important to investigate how the oyster shells can be used to achieve financially sustainable management. The mussel industry in Sweden also causes spills of shells which have the potential to be used in the same way as oyster shells. The purpose of the study was to compare current and potential uses for the shells of Pacific oysters (*Magallana gigas*) and blue mussels (*Mytilus edulis*) by investigating and comparing their chemical composition and to map which products/applications are currently available for the shells. This is to find established and potential uses for shells as a resource and thus be able to evaluate the future potential for the resources.

Methods used for the study were systematic literature review, mapping of products based on web searches, qualitative interviews with companies, literature-based study of chemical composition and a chemical analysis of the shells. Areas of use found in previous research and during the product search were cement, concrete & stone, medicine, calcium source hens, water purification, polypropylene, chitin, catalyst for biofuel, air purification, agriculture, design and other uses. The comparison between the species for potential and established areas of use again shows a non-significant difference. The results from the chemical analysis show that the chemical composition of the shells does not differ significantly, but the interchangeability of shells still depends on limitations regarding the chemical composition (limits for maximum content) for different areas of use. The comparison made with feed lime shows great potential for use and interchangeability of shells from both species. The study is important for the development of an economically circular market for shells from cultivation, management and after consumption. Taking lessons from other countries and species is essential for the development of a market for Pacific oyster shells in Sweden.

Keywords

Sustainable management; Commercial products; Sweden; Waste; Recycling

Inledning

Invasiva arter

Arter kallas invasiva när de introduceras i nya miljöer av människor där de snabbt kan sprida sig och orsaka ekologisk eller ekonomisk skada (Roy. m. fl, 2019). Invasiva arter är ett stort problem på många platser eftersom de utgör ett hot för den biologiska mångfalden vilket i sin tur kan få stora konsekvenser för hela ekosystem. Konkurrens med inhemska arter i form av föda eller plats kan förändra inhemska arters levnadsvillkor. Förändringen kan positiv för vissa arter och negativ för andra beroende på levnadsstrategi eller anpassningsgrad. Främmande arter kan också medföra nya parasiter eller sjukdomar som kan skada inhemska arter (Havs- och vattenmyndigheten, 2015).

Ekonomiska skador från invasiva arter uppstår både på privat- och samhällsnivå. Ekologiska effekter på kommersiellt viktiga arter kan leda till stora ekonomiska förluster om populationer minskar eller försvinner helt. Även turism kan påverkas negativt när invasiva arter invaderar områden och påverkar ekonomiskt gynnsamma resurser som exempelvis badstränder där vassa ostronskal kan påverka områdets popularitet (Havs- och vattenmyndigheten, 2015). Dock behöver inte främmande arter alltid ha en negativ påverkan. Vissa arter bidrar till ökad biodiversitet då de konsumeras som en ny födoresurs i ekosystemet eller förser miljön med en ny funktion. Arter som dessa som skapar, bibehåller, modifierar eller förstör habitat, kallas för ekosystemsingenjörer (Jones m.fl., 1994).

Stillahavsostrom som invasiv art

Stillahavsostromet (*Magallana gigas*) är ett exempel på en invasiv art som har potentiellt stor påverkan på de miljöer där den etablerat ostromrev jämfört med tidigare sand och lerbottnar (Dolmer, 2014). Idag har arten introducerats i 66 olika länder för användning i akvakultur och etablerat sig permanent i 17 av dessa (Ruesink, 2007). Exempel på länder där ostromen idag är etablerad som resultat av akvakultur är Australien, Argentina, Kanada, Sydafrika, USA, Nya Zeeland och flera europeiska länder (NOBANIS, 2011). Larver från stillahavsostromen spreds från bestånd i Danmark med strömmar till Sverige och arten etablerade sig på västkusten 2006 (Laugen m.fl. 2015; Faust m.fl., 2017). Arten förekommer främst längst västkusten norr om Göteborg på platser med stort vattenutbyte eller starka strömmar, som exempelvis smala sund och grunda vikar. Ostromen agerar som ekosystemsingenjörer och har både positiv och negativ påverkan på områden i fråga. Exempelvis bildar ostromrev som förser andra arter med skydd, substrat och fortplantningsområden samtidigt som de även bidrar med ekonomiska tjänster som bland annat matresurs för mänsklig konsumtion. Negativa effekter inkluderar potentiell konkurrens med inhemska arter om mat och plats, förändring av habitat och påverkan på lokala näringsvävar (Laugen m.fl., 2015).

Förvaltning av stillahavsostrom

I dagsläget finns ingen fastställd förvaltningsplan kopplat till bestånden av stillahavsostrom i Sverige, men då arten har etablerat sig kraftigt längs svenska västkusten (främst i Bohuslän), har frågan om hantering av arten blivit allt mer omdiskuterad. I forskningsprojektet DynamO (dynamisk förvaltning av stillahavsostrom) pågår insamling av kunskap för att utveckla en modell för hur arten ska förvaltas/hanteras (IVL, 2022). Ostromen finns i olika tätheter längs kusten, höga tätheter i norr och lägre ju längre söder ut som man kommer (A. Wrangle, personlig kommunikation, 3 maj, 2022), och precis som med andra arter kan strategier för att hantera en invasiv art påverkas av vilket invasionsstadium de befinner sig i (Jungblut m.fl., 2018). De första och enklaste stegen är att förebygga spridning eller utrota arten i områden med en tidig invasion. I områden där arten redan är etablerad krävs mer långsiktig

förvaltning. Detta sker genom förebyggande av vidare spridning samt tilltagande åtgärder för att minska påverkan på habitatet eller arter i området. Eftersom stillahavsostrom är en art med kommersiellt värde utgörs en möjlighet för att utnyttja denna resurs och sälja skördade individer för att göra förvaltningen cirkulär och ekonomiskt gynnsam (Dolmer. m. fl, 2014).

Stillahavsostrom är ostromarten som är mest populär för akvakultur på grund av dess snabba tillväxt och förmåga att leva i många olika miljöer. Beslutet att börja odla stillahavsostrom i Europa kom som svar på kollapsat fiske av inhemska arter, som exempelvis det europeiska ostromet (FAO, 2009). I dagens läge är det inte tillåtet att odla stillahavsostrom i Sverige eftersom de räknas som en främmande art (Nordiska ministerrådet, 2019) och myndigheter anser att det finns en risk att odlade individer kan bidra till att öka de vilda bestånden. Däremot har olika aktörer i Norden uppmärksammat ostromen som en resurs och börjat skörda vilda bestånd av stillahavsostrom för försäljning till restauranger samt i samband med turism aktiviteter (Nordiska ministerrådet, 2019). I Sverige skördas idag ungefär lika mycket *M. gigas* som det inhemska ostromen *O. edulis* och intresset för arten fortsätter växa (Livsmedelsverket, 2020). Detta öppnar upp för möjligheten att kombinera kommersiella intressen med förvaltning av arten (Strand & Lindegarth, 2014).

Odling av blåmusslor

I tillägg till stillahavsostrom skapas biogena rev i Sverige också av blåmusslor (*Mytilus edulis*). Musslorna nyttjas också kommersiellt både genom skörd av vilda bestånd (inte i Sverige för tillfället) och genom odling (Å. Strand, Personlig kommunikation, 17 maj, 2022). Blåmusslor är vanligt förekommande som vilda populationer i Sverige men odlas även för livsmedelskonsumtion. Odlingen sker i havet på nät eller rep i områden med mindre vågexponering. Musselodling är vanligare på västkusten som resultat av den högre salthalten vilket medför lägre oxidativ stress. Den lägre stressnivån gör att musslorna kan växa sig större snabbare. Skörden (på västkusten) sker efter cirka 18 månader då musslorna har nått sin konsumtionsstorlek. Odlade blåmusslor som är för små i storlek eller har skadade skal från skörd kan säljas och användas till djurfoder, mat eller gödningsmedel. Odlingen av blåmusslor minskar effekterna av övergödning i havet genom upptag av näringsämnen vid filtrering (Svenskt vattenbruk, 2021). Man beräknar att vid skörd av ett ton musslor avlägsnas upp till 44,7 kg kol, 10,2 kg kväve och 0,6 kg fosfor från vattnet (Persson, 2004). Det diskuteras just nu om att odla mer musslor i östersjön för att dra nytta utav denna effekt (Svenskt vattenbruk, 2021).

Skal som avfall

I länder där stora mängder bivalver skördas eller odlas för livsmedelskonsumtion produceras en stor mängd skal som behöver hanteras. Skalrester kan komma från både före- och efter konsumtionsstadiet. Skal från före konsumtionsstadiet är restprodukter från odlingen, alltså individer som inte är lämpade för livsmedelsförsäljning som resultat av påväxt på skalen, klusterbildning med andra individer, opassande storlek eller krossade skal (Å. Strand, personlig kommunikation, 25 januari, 2022). Skal från efter konsumtionsstadiet kommer från industrin efter separering från kött eller som restprodukt från exempelvis restauranger (Alvarenga m.fl, 2012). En undersökning från Santa Catarina i södra Brasilien, vilket är ett land med väldigt hög produktion av bivalver, visar hur hanteringen av skal som restprodukt kan se ut. Enligt rapporten säljs endast 10% av ostromskalerna för användning inom industrin. Den största delen samlas in av företaget som hanterar stadens avfall och avsätts på deponier och resterande mängder slängs tillbaka ut i havet (Silva. m. fl, 2019).

Bristen på kontroll över vad som händer med skalen från ostronindustrin tillåter idag en ohållbar hantering av restprodukter som beskrivet ovan. Att avsätta skal på deponier på land resulterar i stank vid nedbrytning som kan täcka hela områden och kan även i vissa fall utgöra miljö- och folkhälsoproblem. Ett exempel kommer från Sydkorea under 1980-talet där cirka 300 000 ton ostonskal dumpades årligen. Som resultat av den mikrobiella nedbrytningen av ostronresterna bildades med tiden giftiga gaser såsom ammoniak (NH_3) och svavelväte (H_2S). Den sydkoreanska regeringen finansierade vid detta tillfälle ett projekt med syfte att hitta nya strategier för att återvinna materialet. Inom projektet utvecklades processer och fabriker för utvinning av kalcium från skalen samt tillverkning av konstgödsel med syfte att öka graden återvinning av ostronskalen (Silva. m. fl, 2019). Dumpning av skal i havet kan potentiellt också få effekter på bottenmiljön genom påverkan på syresättningen vilket i förlängningen kan resultera i syrefria botten. Importerade skal kan även föra med sig sjukdomar och parasiter om skalen dumpas i havet direkt efter konsumtion (A. Wränge, personlig kommunikation, 3 maj, 2022).

Även i Sverige uppkommer skal som restprodukt främst från musselodlingar idag. Man beräknar att en tredjedel av skörden utgörs av små musslor som inte lämpar sig för livsmedelskonsumtion, krossade skal och påväxt. Efter förädling kan dessa biprodukter däremot lämpa sig för användning inom foder och jordbruk (Persson, 2004). Genom att ta tillvara på den totala skörden bildas då ett agro-aqua-kretslopp då musslorna återföra näringsämnen till land (Sinah m.fl., 2022). Under cirka 10 år har musselrester använts som gödsel för ekologiskt jordbruk på Orust. Användningen har resulterat i högre pH-värde i jorden samt bättre jordstruktur. Nackdelen med användning av musselrester i detta syfte är att dom ger ifrån sig en obehaglig lukt, detta anses kunna kontrolleras genom en sluten komposteringsprocess (Persson, 2004). Även mängden ostronskal har potential att fortsätta öka i Sverige. Ökningen beror dels på att skörd av stillahavsostren för konsumtion ökar på grund av ökad efterfrågan, i Sverige ökade mängden skördade individer med 185% mellan 2017 och 2018 (Livsmedelsverket, 2020). Inför framtiden har även rensningsåtgärder börjat diskuteras för att minska invasiva gigas bestånd inom vissa typer av miljöer (Nordiska ministerrådet, 2019).

Återanvändning av skal

Idag finns ett antal forskningsstudier som undersökt användningsområden för skal som produkt i syfte att minska mängden restprodukter. Men återanvändning av skal för att undvika deponering kan potentiellt även ha negativa effekter. Exempelvis utsläpp från processhantering och transporter av skalen kan ha stora miljöpåverkningar som överstiger dom negativa effekterna från deponeringen (Alvarenga. m.fl, 2012). I en livscykelanalys genomförd av Alvarenga m.fl. (2012) undersöks hur återanvändning av skal från stillahavsostren jämfört med deponering av skal i form av miljöpåverkan. Resultatet visade att återanvändning av skal från ostron har potential att vara miljömässigt fördelaktigt vid framställning av nya produkter (i detta fallet undersöktes rent kalciumkarbonat ($CaCO_3$) pulver). Skal från bivalver består till cirka 96% av kalciumkarbonat och potentialen att ersätta kommersiell kalciumkarbonat för användning i flera typer av produkter anses därför vara en av dom bästa applikationerna för resursen (Silva. m. fl, 2019). Produkter skapade av skal från stillahavsostren är för tillfället underrepresenterade på den svenska marknaden. Att undersöka nuvarande och potentiella användningsområden för skalen av stillahavsostren från andra länder är därmed användbart för att få idéer kring applikationer för utveckling av en hållbar marknad för den nya resursen i Sverige.

Begränsningar

Skalens kemiska sammansättning kan öppna nya möjligheter för utveckling av användningsområden men även begränsa appliceringen och utbytet av dom olika typerna av skal i produkter. Som tidigare nämnt består skal till störst del av kalciumkarbonat vilket kan förekomma i två olika former, kalcit och aragonit. Skal består vanligtvis av en blandning av de två olika formerna men förhållandet kan variera mellan olika arter (Murphy m.fl, 2019). De olika formerna skiljer sig något i sina fysikaliska egenskaper. Aragonit ingår i det ortoromiska kristallsystemet och har högre densitet och hårdare struktur, kalcit ingår i det trigonala kristallsystemet (Wikipedia, 2021). Det är därmed intressant att titta på förhållandet av formerna av kalciumkarbonatet i skalen för att undersöka utbytbarheten och begränsa användningen av de olika arterna inom samma typer av produktionskedjor och slutgiltiga produkter.

Skalens övriga kemiska komposition är också intressant att undersöka då vissa ämnen kan begränsa utbytbarheten av skalen samt de industriella applikationerna vid olika behandlingar. När bivalver filtrerar ackumulerar dom ämnen från det omkringliggande vattnet. Individer som lever i förorenade områden har potential att ta upp bland annat metaller som zink, bly och koppar i både i sin mjukvävnad och skal (Richardson m. fl. 2001). Inkorporering av tungmetaller i skalen på bivalver sker då vissa metaller följer samma intracellulära väg som kalcium under processen för biomineralisering. I förorenade områden har tungmetaller därmed möjlighet att ersätta kalcium då skalen bildas (Jordaens m. fl. 2006). En studie genomförd av Stewart m fl. (2021) visar att skal från bivalver som utsatts för metalliska föroreningar är svagare. Det är därmed viktigt att undersöka kemisk sammansättning av skalen med avseende på miljögifter eller andra kemiska ämnen som bör undvikas inom tillverkning av vissa produkter för identifiering av lämpliga användningsområden.

Syfte

Då blåmusslor odlats i Sverige under en längre tid har vi idag en större förståelse för hur denna resurs kan användas fördelaktigt (Hinchcliffe, 2019). Det är därmed intressant att undersöka om värdekedjor som används för utnyttjande av blåmusslor även skulle kunna användas för stillahavsstron eller om nya projektlinjer behöver utvecklas. Det är även intressant att undersöka utbytbarheten av skalen i produkter som resultat av skalens struktur och kemiska sammansättning. Som resultat av ökad odling av blåmusslor (Persson, 2004) samt ostronets ökade spridning och popularitet i Sverige (Livsmedelsverket, 2020), kommer mängden skördade individer av stillahavsstron och odlade blåmusslor troligen stiga. Att hitta användningsområden för skal är därmed essentiellt för att utveckla en ekonomiskt och ekologisk hållbar odling av blåmusslor och förvaltning av stillahavsstron i Sverige. Syftet med undersökningen var att jämföra nuvarande och potentiella användningsområden för skalen av stillahavsstron (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*) genom att undersöka och jämföra deras kemiska sammansättning samt kartlägga vilka produkter/applikationer som idag finns för skalen.

Hypoteser

H1: Den kemiska sammansättningen av skalen hos stillahavsstron (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*) skiljer sig åt vilket begränsar utbytbarheten mellan skalen.

H0: Den kemiska sammansättningen av skalen hos stillahavsstron (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*) skiljer sig inte åt vilket gör att skalen är utbytbara.

H1: Användningsområden för musselskal skiljer sig från användningsområden för ostronskal.

H0: Användningsområden för musselskal skiljer sig inte från användningsområden för ostronskal.

Material & Metoder

Litteraturgranskning

Systematisk litteraturstudie

För att besvara frågeställningen kring potentiella användningsområden för skal har en systematisk litteraturstudie genomförts. Enligt Forsberg & Wengström (2016) innefattar detta att författaren söker, kritiskt granskar och bedömer vetenskapliga studier med syfte att få en översikt över angelägen forskning inom området. Denna metod är relevant för arbetets syfte då aktuell forskning ger en bra representation av potentiella användningsområden för skal från blåmusslor och stillahavsostrom. Detta kan ge en intressant infallsvinkel vid analys mot redan existerande produkter. En systematisk litteraturstudie förser även arbetet med intressanta applikationer för framtida forskning vilka även kan nyttjas vid urvalet av företag och personer i arbetets intervjudel.

För att avgränsa problemområdet och formulera sökord för litteraturstudien användes PICO modellen. Genom att besvara frågor gällande population, område för arbetet, kontext samt målbild bildades en uppfattning kring struktur samt specifikation av sökord (Friberg, 2017). Populationen bedömdes vara ostrom och musslor och mer specifikt skalerna från dessa. Arbetets område är centrerat kring användningsområden i olika typer av produkter. Kontexten och målbilden för arbetet är att hitta lösningar för stora mängder avfall i form av skal genom att integrera restprodukterna (skalerna) i kommersiella produkter. Sökorden formulerades för att omfatta både svensk och internationell forskning kring användningsområden för skal från musslor och ostrom utan specifikation på artnivå. Anledningen till detta var för att kunna undersöka geografisk fördelning av forskning kring specifika arter samt eftersom användningsområden av bivalv skal av andra arter kan vara av intresse för arbetet. Utifrån detta definierades de slutgiltiga sökorden till: "Musselskal", "Ostronskal", "Användning", "Mussel shell", "Oyster shell", "Shell waste", "Sustainable management", "Commercial use" & "Value added product".

Kombineringen av sökord till sökningar med ett hanterbart antal träffar gjordes med hjälp av de booleska operatorerna AND och OR. AND begränsar sökningen till arbeten som innehåller båda sökorden man kombinerat och resulterar därmed i en smalare sökning. OR anger istället att minst ett av dom kombinerade sökorden ska finnas med i arbetet vilket breddar sökningen (Karolinska institutet, 2021). Med hjälp av dessa sammanlänkade sökorden till följande två sökningar med ett hanterbart antal träffar: (Musselskal OR Ostronskal) AND "Användning" och ("Mussel shell" OR "Oyster shell") AND ("Shell waste" OR "Sustainable management") AND ("Commercial use" OR "Value added product"). Sökningarna gjordes i databasen Google scholar och genomfördes under tidsspannet 14/02 2022 - 18/02 2022. Urvalet av artiklar kompletterades även med en manuell sökning. Denna utfördes genom att undersöka referenslistor från arbeten som hittats i litteratursökningen samt genom att läsa artiklar som var föreslagna av handledaren. För redovisning av sökningar och antal träffar se tabell 1. Arbeten som valdes ut ansågs täcka användningsområden som är viktiga för arbetets helhetsbild samt för att inkludera forskning kring de största och redan etablerade produktionskedjorna kring skal som resurs.

Tabell 1. Sökningar genomförda för den systematiska litteratursökningen

Datum	Sökord	Antal träffar
14/02-2022	("Musselskal" OR "Ostronskal") AND "Användning"	168
14/02-2022	("Mussel shell" OR "Oyster shell") AND ("Shell waste" OR "Sustainable management") AND ("Commercial use" OR "Value added product")	94
18/02-2022	Manuell sökning	5

Utsortering av artiklar skedde genom två urval samt ett inklusionskriterium kring språk. Det första urvalet genomfördes efter läsning av artikelns rubrik och sammanfattning. Sedan togs ett beslut om dess syfte och inriktning var relevant för ämnet. Om artikeln ansågs relevant fortskred läsningen av diskussion och slutsats och sedan gjordes ytterligare ett urval kring arbetets kvalitet med hjälp av en granskningsmall skapad med utgångspunkt i SBU:s kvalitetsgranskningsmall, se bilaga 1. Utifrån svaren på frågorna som ställdes i kvalitetsgranskningen togs ett beslut om vilka artiklar som skulle inkluderas i det slutgiltiga urvalet. Begränsningen gjord med språkkriteriet betyder att artiklar som inkluderas måste vara skrivna på eller översatta till svenska eller engelska. Detta eftersom det är de språken författaren av denna rapport kan läsa. Artiklarna som inkluderades i arbetet efter urval 1 och 2 redovisas i en form av en artikelöversikt (se bilaga 2).

Kartläggning av produkter baserat på webbsökning

För att få en överblick av produkter skapade från skal av ostron och blåmusslor som redan finns på marknaden genomfördes en kartläggning baserat på webbsökningar. Detta gjordes med syfte att komplettera den systematiska litteraturstudien som främst undersöker potentiella användningsområden. Att studera redan etablerade produkter var även intressant för att få en prisbild av olika produkter skapade från skal samt för att identifiera vilka olika typer av produktionskedjor som redan existerar. Kartläggningen medförde även kontakter som användes vid den kommande intervjudelen av arbetet.

Databasen som användes vid sökningen var Google. Sökorden formulerades både på svenska och engelska för att få ett så brett resultat som möjligt, både på en svensk- och internationell nivå. Sökorden definierades till följande termer; "Skal", "Mussla", "Produkt", "Pris", "Ostron", "Shell", "Mussel", "Oyster", "Product" & "Price". Krav som ställdes på produkten för att inkluderas i resultatet var att produkten skulle finnas i lager och gå att köpa vid tillfället för kartläggningen samt att produkternas pris skulle finnas listade på hemsidan i så stor mån som möjligt för att förse arbetet med en prisbild för produkterna i varje kategori. Språkkriteriet från den systematiska litteratursökningen gällde även på kartläggningen, resultatet begränsades därmed till hemsidor på svenskt eller engelskt språk. Sökningen kompletterades även med produkter tidigare kända av handledare. Utvalda produkter från sökningar och handledare sammanställdes i en tabell och klassificerades utifrån användningsområde.

Statistiska analyser

Utifrån resultaten genomfördes sedan χ^2 test mellan de olika användningsområdena för ostron och musslor i syfte att ta reda på om fördelningen skilde sig mellan arterna. Detta gjordes både för den systematiska litteraturgranskningen och kartläggningen av produkter. Antal användningsområden från de två olika metoderna (kartläggningen av produkter baserat på webbsökning och den systematiska litteraturstudien) jämfördes sedan med ett χ^2 test för

att avgöra om användningsområdena från webbsökningen och litteratursökningen skiljde sig åt för respektive art.

Kvalitativa intervjuer

Med syfte att få en uppfattning av redan existerande produktionskedjor i Sverige, praktiska möjligheter samt intresse för framtida implementering av skalerna i olika produkter genomfördes även kvalitativa intervjuer med lämpliga företag och personer. En kvalitativ intervju är baserad på mjukdata vilket innebär att data inte kan mätas till skillnad från hårddata som används i kvantitativa studier (Larsen, 2018). Valet att genomföra kvalitativa intervjuer var för att ta reda på industri representanternas tankar och åsikter kring ämnet. Frågorna riktades för att undersöka intresse, personliga upplevelser och erfarenheter vilka skulle kunna användas för att bedöma den praktiska genomförbarheten, fördelar och nackdelar kring resursen inom specifika branscher samt begränsningar för fortsatt utveckling.

Urvalet av deltagare i intervjuerna skedde genom godtyckligt urval. Det innebär att forskaren själv väljer ut vilka som ska delta i intervjun utifrån olika kriterier (Larsen, 2018). I detta fall skedde urvalet utifrån användningsområden av skal som tidigare identifierats i litteraturstudien. För att begränsa urvalet fastställdes även kriterier på deltagarna. Dessa kriterier definierades till personer som arbetar för ett företag som har ett pågående arbete kring skal från ostron eller blåmusslor eller företag som enligt information från litteraturstudien har potential att implementera skal från ostron eller blåmusslor i sin produkt.

Frågor som ställdes i intervjuerna planerades och sammanställdes i en intervjumall efter genomförandet av litteraturstudien för att få en översiktlig bild över användningsområden, möjligheter och begränsningar innan fortsatta diskussioner kunde ske (Bilaga 3). Intervjumallen delades upp i två delar, en riktad till företag som redan jobbar med implementering av ostronskal i produkter och en som har syfte att undersöka intresset för implementering av skal hos ett företag som tidigare inte jobbat med denna typ av produkt. Personerna som intervjuades fick ta del av frågorna i förväg för att kunna förbereda sig och leta upp information de behövde för att ge så bra svar som möjligt. Intervjufrågorna justerades något beroende på företag och användningsområde och vid intresse ställdes följdfrågor för att vidga svaren ytterligare. För att effektivisera intervjuer samt minimera riskerna för smittspridning av covid-19 genomfördes intervjuerna över teams, zoom eller telefon.

Lämpliga personer och företag hittades genom kontakter från handledare samt vid sammanställningen av den gråa litteraturen (dvs icke-vetenskapligt granskat underlag). Personer kontaktades via mail med en förfrågan att medverka i en intervju som de sedan kunde tacka ja eller nej till. Intervjuerna började med en kort presentation av arbetets syfte och frågeställning för att ge deltagaren en bild om frågornas kontext. För att dokumentera svaren spelades intervjuerna in i så stor mån som möjligt och i vissa fall antecknades svaren. Intervjuerna tog cirka 30 minuter att genomföra och i slutet uppmanades deltagarna att ställa frågor som kunde bidra till vidare diskussioner. För att analysera de dokumenterade anteckningarna från intervjuerna kategoriserades svaren. Detta gjordes genom sammanställning av en tabell som sedan kodades utifrån svar. Detta gjordes i syfte att hitta likheter och skillnader i svaren mellan olika deltagare och på så sätt identifiera intressanta mönster. Alla deltagare tillfrågades sedan om tillåtelse för registrering av svaren i syfte att rapporteras i projektarbetet. Den slutgiltiga sammanfattningen av varje intervju kontrollerades sedan av respektive deltagare för att undvika missförstånd och säkerställa att all information som förmedlats var godkänd för publicering.

Undersökning kring kemisk sammansättning och uppbyggnad av skal

Att avgöra och jämföra den kemiska sammansättningen av skalen från stillahavsostron och blåmusslor var också en viktig del av arbetet. Den kemisk sammansättningen kan begränsa skalens användningsområden och ha en påverkan på graden av utbyttbarhet mellan arterna vid användning i olika produkter. Även skalens struktur och uppbyggnad kan ha en betydelse för olika användningsområden eftersom det bland annat kan påverka materialets hållfasthet. Skalens kemiska uppbyggnad undersöktes därmed i kombination med formen av skalets största beståndsdel, kalciumkarbonat, som finns i två olika former: aragonit och calcit genom en litteratursökning.

Databasen som användes vid sökningen var Google scholar. Eftersom kraven på artiklarna som användes var betydligt fler jämfört med andra sökningar genomfördes en manuell sökning istället för en systematisk litteratursökning i syfte att enklare och snabbare sälla ut informationen som behövdes. Sökorden definierades till följande termer; "Kemisk sammansättning", "Stillahavsostron", "Blåmussla", "Aragonit", "Calcit", "Förhållande", "Chemical composition", "Pacific oyster", "Blue mussel", "Aragonite", "Calcite" och "Ratio". Dessa sökord kombinerades på flera olika sätt med hjälp av booleska operatörer för att identifiera så många relevanta arbeten som möjligt.

Krav på arbeten som inkluderades var genomförd kemisk analys på skal från stillahavsostron eller blåmusslor eller genomförd undersökning av förhållandet mellan aragonit och calcit i skalen. Inkluderade arbeten avgränsades även till arterna stillahavsostron (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*) för att den kemiska sammansättningen och uppbyggnaden av skal kan variera, även mellan nära besläktade arter. Som vid tidigare sökningar begränsades även artiklar av språkkriteriet och resultatet inkluderar endast arbeten skrivna eller översatta till svenska eller engelska. Utöver detta begränsades även artiklarna kopplade till kemisk sammansättning (bortsett från artiklarna som fokuserade på formen av kalciumkarbonat) med avseende på ålder och geografiskt område för insamling av individer, vilka är faktorer som skulle kunna ha ett inflytande på skalens sammansättning. Den manuella litteratursökningen kompletterades även med information hämtad i artiklar från den systematiska litteratursökningen samt från intervjuer med företag som tidigare genomfört kemiska analyser.

Företag kontaktades även i syfte att ta reda på gränsvärden för kemiskt innehåll i olika typer av produkter. Detta gjordes med syfte att jämföra skalens kemiska sammansättning med för att avgöra om skalen skulle kunna användas inom dessa områden. Företagen som kontaktades var från de kvalitativa intervjuerna som ansågs ha potential för användning av skal i framtiden.

Kemisk analys

Förarbetet för den kemiska analysen påbörjades genom att fastställa vilka ämnen som är viktiga för olika typer av applikationer genom att undersöka svar från intervjuer med företag och litteraturen. Vidare undersöktes även vilka ämnen som det saknas information om från litteratursökningen och tidigare gjorda analyser från företag. Resultatet sammanställdes sedan i en tabell. När tabellen över ämnen hade fastställts kontaktades företaget Eurofins för beställning av analys. Insamlingen av stillahavsostron gjordes på två olika platser; en störd ("worst case") och en ostörd ("best case") plats. Detta för att få en indikation om sammansättningen kan variera mellan platser med olika förutsättningar och därmed påverka vilka områden som ostron skulle kunna skördas ifrån i framtiden.

Den störda platsen var Rossö hamn (58°51'18.4"N 11°10'26.1"E), vilket är ett område som karaktäriseras av mycket båttrafik och mänsklig påverkan. Insamlingen av stillahavsostrom från denna lokal genomfördes 10 april 2022. Den ostörda platsen var lokaliserad på Koster (58°51'48.6"N 11°02'32.7"E) vilket är ett område som har mindre mänsklig påverkan och är mer avgränsad från båttrafik. Insamlingen av stillahavsostrom från denna lokal genomfördes 11 april 2022. Insamlingen skedde med hjälp av vadarstövlar och vattenkikare. Individer som valdes skulle vara ungefär samma storlek (20 cm). Stora individer valdes för att representera ett "worst case scenario" då äldre individer filtrerat vatten under en längre tid och därmed har större potential att samla på sig skadliga ämnen. 10 individer valdes från vardera plats och dessa placerades i en hink och transporterades tillbaka till Tjärnös marina forskningsstation där de placerades i frysen tills provtagning kunde genomföras. Blåmusslorna som användes för analysen var odlade musslor från Svenska västkusten som köptes från mataffären 20 april 2020. Dessa representerar därmed blåmusslor som odlats inom Sverige för livsmedelsförsäljning.

Mätningar av biometri gjordes på både ostron och blåmusslor genom att vid provtagning numrera individerna mellan 1 och 10 varefter skallängd och våtvikt mättes. Resultatet antecknades i en tabell. Ostronen, som frusits före provtagning, tinades innan separering av kött och skal. För separation av kött och skal bändes skalen upp med en kniv och köttet skars ut. Efter separering mättes sedan våtvikten av skalen och resultatet antecknades i tabellen. Sedan krossades skalen för respektive plats och art med hjälp av en hammare. Skalkrosset förpackades och lämnades in till laboratoriet (Eurofins) för analys.

Statistiska analyser

Baserat på resultaten från de kemiska analyserna, genomfördes en jämförelseanalys för att ta reda på hur lika skalen från musslor och ostron är i kemisk sammansättning (genom att beräkna procentuell skillnad) samt om de därmed har potential att vara utbytbara för användning till vissa produkter. Eftersom analysvärdena skiljde sig en del mellan våra analyser och analysen från Odd Lindahl, användes våra resultat för jämförelsen i så stor utsträckning som möjligt. Detta också för att undvika skillnader i detekteringsgräns mellan metoder eftersom analysresultaten från Odd Lindahl är äldre (från 2018) och andra analysmetoder används. För att avgöra om tungmetaller eller andra ämnen som kan påverka inkorporering skiljde sig mellan ostronen från dom två olika platserna gjordes ett Wilcoxon signed rank test. Wilcoxon testet användes då datan inte var normalfördelad. För att sedan avgöra om skalen av dom olika arterna (ostron och musslor) skiljer sig i kemisk sammansättning genomfördes sedan ett ytterligare ett Wilcoxon signed rank test mellan medelvärdet för mätningarna på ostronen och värden för odlade blåmusslor från analysen.

Inom denna undersökning gjordes även en jämförelse med foderkalk eftersom data kring begränsningar för övriga användningsområden inte fanns tillgängligt för användning. Vid kontakt med företaget Nordkalk gavs tillgång till ett typiskt analysblad för en karbonat produkt, foderkalk (Nordkalk, personlig kommunikation, 18 mars, 2022). Detta analysblad användes sedan för att göra en jämförelse med skalens innehåll och därmed avgöra om skalen har potential för användning inom detta område.

Resultat

Litteraturgranskning

Systematisk litteraturstudie

Dom två sökningarna som gjordes inom den systematiska litteraturstudien gav totalt 262 träffar. Utöver dessa hämtades även fem artiklar vid den manuella sökningen med utgångspunkt i rekommendationer från handledare samt utifrån referenslistor. Detta för att täcka upp så många användningsområden som möjligt och identifiera områden som saknades från den systematiska sökningen. Vid det första urvalet för relevans efter läsning av titel och abstract exkluderades 234 artiklar och vid det andra urvalet för kvalitet exkluderades 13. Antalet artiklar som inkluderades i det slutgiltiga arbetet efter första och andra urvalet var 20 stycken. För förtydning av urvalsförloppet och resultatet se figur 1.

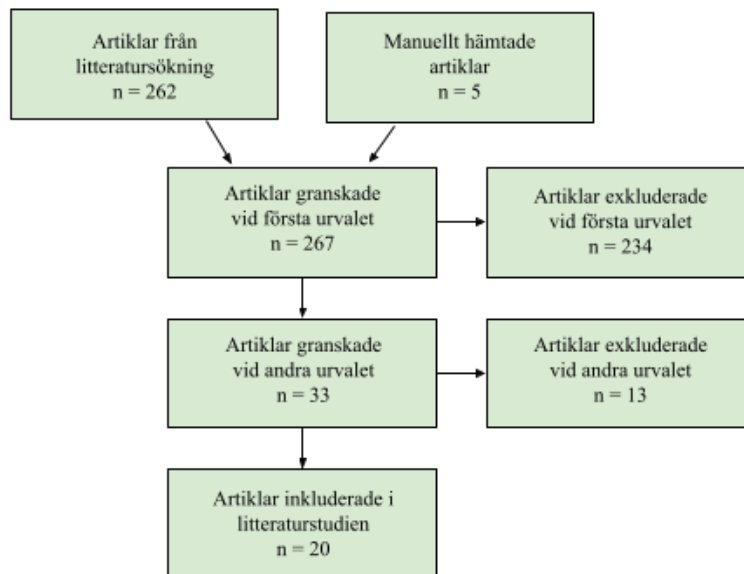


Fig. 1 Flödesschema för processen för urval av artiklar för dom två olika sökningarna

Fördelningen av artiklarna mellan ostron och musslor för respektive användningsområde visas i figur 2. Den svenska sökningen gav främst artiklar fokuserade på den inhemska blåmusslan (*M. edulis*) medan de engelska sökningarna hade ostron eller andra musselarter som störst fokus. Geografisk fördelning presenteras i bilaga 2. Inom litteratursökningen identifierades 10 olika användningsområden för skal.

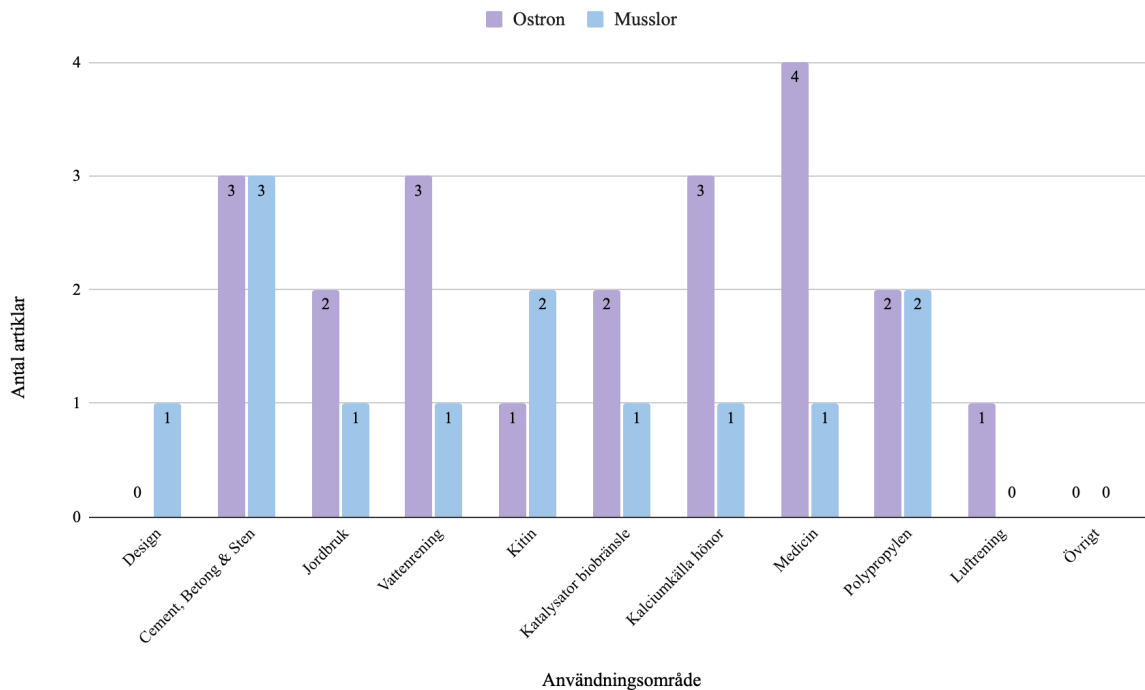


Fig. 2 Diagram över fördelningen mellan antal arter inom fokus för respektive användningsområde för den systematiska litteraturgranskningen

Den största kategorin från litteraturgranskningen var cement, betong och sten. Inom denna kategori undersöktes användning av blåmusselskal inom ersättning av kalksten i cement (Ahrenbeck m.fl., 2021; Andréasson m.fl., 2021), tillverkning av ett konstgjort stenmaterial från komposit skapad genom inkorporering av ostronskal i ett polymerharts (Silva m.fl., 2019), som delvis ersättning till sand och grov ballast i betong (Richardson & Fuller, 2013; Yao m.fl., 2014) samt tillsättning av skal från musslor i murbruk för användning i dräneringssystem i syfte att öka materialets motståndskraft mot organiska syror (Monita m.fl., 2020).

Den näst största kategorin var medicin. Inom denna kategori undersöktes absorptionsförmågan av ostronskal som genomgått elektrolys i jämförelse med vanligt kalciumkarbonat för användning som kalciumtillskott (Fujita m.fl., 1988), påverkan av ostronskal som genomgått elektrolys som kalciumtillskott för att öka bendensitet (Fujita m.fl., 1990), utvinning av hydroxiapatit från ostronskal för användning inom bland annat bentransplantationer (Hou m.fl., 2016) samt användning av skal från ostron och musslor för antibakteriella och svampdödande effekter genom omvandling av kalciumkarbonaten i skalen till kalciumoxid (CaO) (Yao m.fl., 2014).

Inom kategorin vattenrening undersöks användning av skal från ostron och musslor för användning inom upptag av fosfor för användning inom olika områden (Martins m.fl., 2017; Auckland Regional Council, 2010; Kim m.fl., 2020) samt för sanering av organiskt anrikat bottensediment med syfte att minska övergödning genom att använda behandlat ostronskalspulver (Khirul m.fl., 2020). För kategorin kalciumkälla för hönor undersöks potentialet att byta ut kalktillskott i form av kalksten med kalk från ostron- och musselskal (Olgun m.fl., 2015; Hou m.fl., 2016; Yao m.fl., 2014)

Användningen av skal från musslor och ostron för att utvinna ren kalciumkarbonat som sedan skulle kunna användas som fyllnadsmedel i polypropen som alternativ till kommersiell kalciumkarbonat undersöks inom kategorin polypropylen (Hamester m.fl., 2012; Yao m.fl., 2014). Inom kategorin jordbruk undersöks potentialen för användning av skal från ostron och musslor inom applikationer som gödslingsmedel (Olrog & Christensson, 2003; Seesanong m.fl., 2021) och för neutralisering av sura pH-värden i jorden (Yao m.fl., 2014).

För kategorin katalysator vid tillverkning av biobränsle genom utvinning av kalciumoxid från ostron och musslor för användning som heterogen katalysator (Taufiq-Yap m.fl., 2012; Yao m.fl., 2014). Potentialen för användning av skal från ostron och musslor för utvinning av kitin undersöks inom kategorin kitin. Kitin är även kallat poly 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucose och är en mångsidig och miljövänlig polysackarid som har tillämpningar inom flertal områden såsom medicin, livsmedel, jordbruk, kosmetik och bioteknik (Alabaraoye m.fl., 2018; Hou m.fl., 2016).

Inom kategorin design undersöks skal från blåmusslor för utveckling av ett biologiskt nedbrytbart material som kan användas vid utformning av inredningsprodukter (Andersson, 2020). Den sista kategorin som identifierades inom den systematiska litteraturgranskningen var luftrening. Inom denna kategori undersöks användningen av skal från ostron vid rening av luft från sura gaser. Genom utvinning omvandling av kalciumkarbonat till kalciumoxid eller kalciumhydroxid med högre reaktivitet genom kalcinering (Yao m.fl., 2014). Kalcinering är en process då upphettning av ett material leder till sönderdelning av ämnen. Denna process används även för kalksten för omvandlingen från kalciumkarbonat ($CaCO_3$) till kalciumoxid (CaO) och koldioxid (CO_2) (Nationalencyklopedin, u.å).

Kartläggning av produkter baserat på webbsökning

Fördelningen mellan art som används inom respektive användningsområde visas i figur 3. För sammanställningen av produkter i kartläggningen samt geografisk fördelning se bilaga 4. För kartläggningen av produkter var det inte lika stor skillnad i fokus art mellan den svenska och internationella sökningen jämfört med resultatet från den systematiska litteraturgranskningen. Kartläggningen av produkter baserat på webbsökning visade nio olika kategorier för användningsområden för skal.

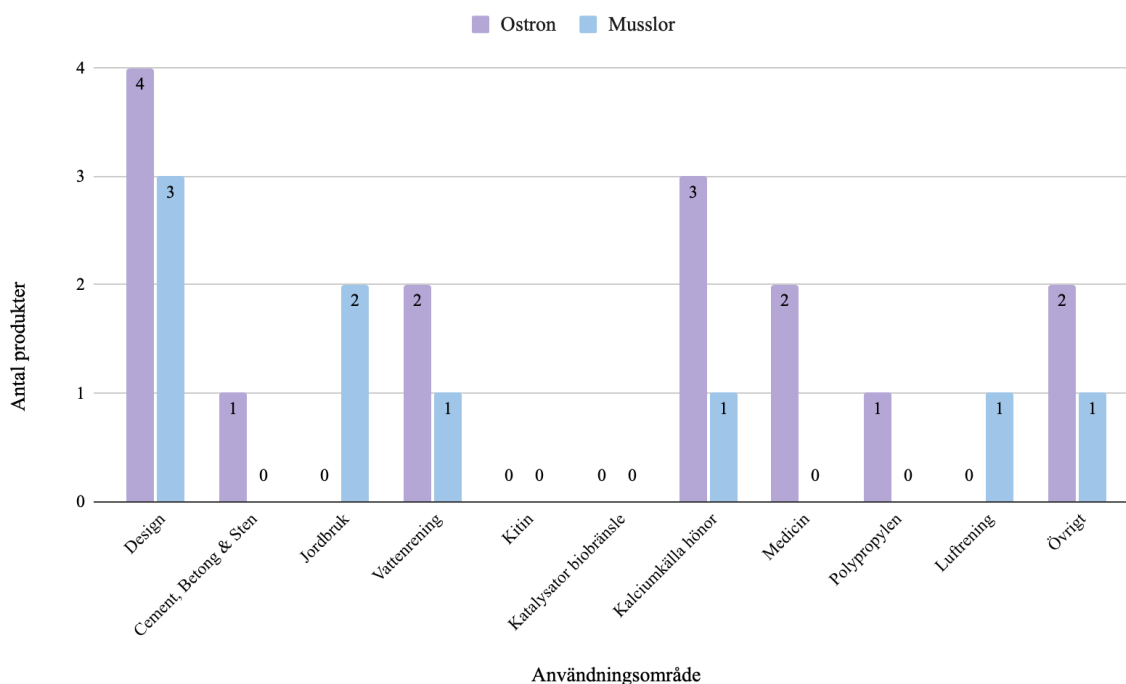


Fig. 3 Diagram över fördelningen mellan antal arter inom fokus för respektive användningsområde för kartläggningen av produkter baserat på webbsökning

Designprodukter var den största kategorin baserat på produktkartläggningen. Inom denna kategori hittades smycken gjorda på ostron- och musselskal (Mia Larsson Jewelry, u.å; Etsy, u.åa; Etsy, u.åb), knappar gjorda på musselskal (Tessuti fabrics, u.å), inredningsdetaljer skapade från ostronskal (Etsy, u.å; Buy way of charleston, 2021; Pigeon and poodle, u.å; Etsy, u.åb), samt olika typer av konstprodukter skapade av skal från båda arterna (Etsy, u.åa; Etsy, u.åb). Design kategorin innehöll generellt produkterna med högst prisklass men också med stor variation. Priserna för produkterna som hittades inom denna kartläggning varierade mellan 5-3589 kr. Generellt var produkterna inom denna kategori skapade från väldigt få skal vilket innebär att priset per skal inom denna kategori var väldigt högt.

Produkter framtagna med syfte att fungera som en kalciumkälla för hönor hittades som fyra olika fabrikat från fyra olika märken (Van der Endt-Louwerse, u.å; Marriages, u.å; Manna Pro, 2022; Danshells, 2022). Denna typ av produkt hittades skapad från krossade skal från både ostron och musslor. Priset för produkterna varierade men låg mellan 12-26 kronor per kilogram skal. Inom kategorin för vattenrening hittades tre produkter, alla för samma typ av användning (Danshells, 2022; Dammbutiken, 2022; Wiltec, 2022). Dessa produkter var påsar med hela eller krossade skal som såldes med syfte att placera i fiskdammar för att frisätta mineraler som buffrar vattnets pH-värde. Inom denna kategori fanns produkter skapade från både ostron- och musselskal. Priset för dessa produkter varierade mellan 12-93 kronor per kilo skal.

Inom kategorin medicin hittades två produkter med samma användningsområde (Nature's blend, 2022; Solgar, 2022). Produkterna var kosttillskott med kalcium utvunnet från skal från ostron. Inom denna kategori fanns inga produkter skapade från blåmusselskal. Priset på denna typ av produkt varierade mellan 0,56 och 1,14 kronor per tablett. Jordbrukskategorin innehöll två produkter. Dessa var båda skapade från krossade skal från musslor och marknadsfördes med syfte att användas inom jordförbättring och trädgårdsskötsel (Musselfeed, 2021;

Danshells, 2022). Inom denna kategori fanns inga produkter skapade från ostronskal. Priset för den ena produkten visas inte på hemsidan och den andra säljs för 12 kronor per kilo skal.

Inom området för polypropylene hittades endast en produkt. Detta var ett kalciumkarbonat pulver gjort på ostronskal som säljs med syfte att användas inom gummi- och plastindustrin (Amsquare tradelinks, u.å). Inom detta område fanns endast produkter skapade från ostronskal. Priset för produkten var 3,3 kr per kg pulver. Inom kategorin luftrening hittades en produkt. Denna produkt var krossade skal från musslor som såldes med syfte att användas som biofilter för att avlägsna gaser och dåliga lukter (Danshells, 2022). Inom detta område fanns endast produkter skapade från musselskal. Priset för denna produkt var 12 kr per kg pulver. För kategorin med cement, betong och sten hittades en produkt. Detta var ett kalciumkarbonat pulver som såldes i syfte att användas inom byggnadsindustrin (Amsquare tradelinks, u.å). För denna kategori fanns endast produkter skapade från ostronskal. Priset för produkten var 3,3 kr per kg pulver.

I kategorin för övriga användningsområden fanns tre olika produkter som inte platsade i någon av dom ovanstående kategorierna. Den första var ett kalciumkarbonat pulver skapat från ostronskal som säljs med syfte att användas inom kemisk- och pappersindustri (Amsquare tradelinks, u.å). Denna produkt såldes för 3,3 kr per kg pulver. Den andra produkten inom denna kategori var en våtdräkt skapad från en blandning av pulver från ostronskal, naturligt gummi, sockerrör och vegetabilisk olja (Soörüz, 2022). Priset för denna produkt var 2992 kronor styck. Inom denna kategori fanns inga produkter skapade från blåmusselskal. Den sista produkten var ett gitarrplektrum skapat från ostronskal (Timber tones, 2022). Denna produkt såldes för 115 kronor styck.

Statistiska analyser

χ^2 testet för analys kring fördelning mellan användningsområde och art från den systematiska litteraturstudien och kartläggningen av produkter visar ingen signifikant skillnad ($\chi^2_{krit} > \chi^2_{obs}$). Därmed behålls H_0 för hypotes 2, vilket tyder på att användningsområden för musselskal inte skiljer sig från användningsområden för ostronskal. χ^2 testet som testade skillnaden i fördelningen mellan antal användningsområden per art mellan den systematiska litteraturgranskningen och kartläggningen av produkter visar en signifikant skillnad ($p > 0,05$). Det innebär att H_0 förkastas vilket tyder på att det finns en skillnad i fördelning mellan användningsområde och art mellan dom två olika metoderna.

Kvalitativa intervjuer

Företagen som valdes för intervjuerna var Studio Demos, Mia Larsson jewelry, Musselfeed, Trioworld, Flexiclean, Swerock och Nordkalk. Intervjun med Studio Demos genomfördes den 23/02 2022 med syfte att höra mer om ett pågående projekt centrerat till skal från stillahavsostren för olika applikationer inom inredning och design. Intervjun med Mia Larsson jewelry genomfördes den 28/02 2022 med syfte att höra mer om tillverkningen av smycken från skal från bland annat ostron och blåmusslor. Intervjun med Musselfeed genomfördes den 04-03-2022 med syfte att höra med om producering av musselmjöl och skalkross från blåmusslor samt produktionskedjan för tillverkningen. Intervjun med Trioworld genomfördes den 04/03 2022 med syfte att höra mer om ett tidigare projekt för inkorporering av krossade ostronskal som fyller vid tillverkning av plastpåsar. Intervjun med Flexiclean genomfördes den 10/03 2022 med syfte att undersöka potentialen att använda skal inom vattenrening. Intervjun med Swerock genomfördes den 23/02 2022 med syftet att undersöka möjligheter och begränsningar för applikationer för skal inom ballast och cement, vilket var ett stort fokus för forskningen från den systematiska litteraturgranskningen.

Intervjun med Nordkalk genomfördes den 11/03 2022 med syfte att undersöka möjliga applikationer för skal inom dagens tillämpningar för kalksten. Resultaten från intervjuerna presenteras kortfattat i tabell 2 och fullständiga svar redovisas i bilaga 5.

Tabell 2. Sammanställning av resultatet från kvalitativa intervjuer

Företag	Produkttyp	Nuvarande användning	Framtida potential	Begränsningar	Pris
Studio Demos	Design, Inredning	Ingen, I utvecklingsfas	Stor potential som fler olika typer av produkter	Ekonomi/Tillgång till en keramikugn	Inte fastställt ännu
Mia Larsson Jewelry	Design, Smycken	Tillverkning av smycken	Stor potential, God tillgång till skal och stort intresse från kunder	Ingen direkt begränsning	1589 - 3324 sek per smycke
Musselfeed	Kalk inom jordbruk och som trädgårdsdekoration	Kalk för motverkan till försurad jord och till trädgårdar	Stor potential, God tillgång till skal, stort intresse för användning inom flera olika branscher	Företagsekonomiska parametrar	-
Trioworld	Fyllnadsmaterial, Plastförpackningar	För tillfället ingen aktiv tillverkning, Har används tidigare för tillverkning av plastpåsar	Stor potential som livsmedelsförpackningar som kräver spårbara material (Förhindrar användning av återvunnen plast)	Materialets återvinningspotential	-
Flexiclean	Vattenrening, dagvatten	Ingen, undersökt för framtidspotential som filtermaterial	Potential som filtermaterial, skulle behöva testas för upptagning av ämnen	Kemisk sammansättning, upptagningspotential & återvinningspotential	Kräver låg prissättning
Swerock	Fyllnadsmaterial, inom cement och ballast	Ingen, undersökt för framtidspotential	Potential som fillermaterial i cement eller ballast	Kemisk sammansättning, mängden skal, applicering i praktiken & prissättning	Kräver låg prissättning
Nordkalk	Fyllnadsmaterial, inom olika områden för kalksten	Ingen, undersökt för framtidspotential	Potential som jordbrukskalk eller fillermaterial	Kemisk sammansättning	Kräver låg prissättning

Undersökning kring kemisk sammansättning och uppbyggnad av skal

Sökningen gjordes i syfte att avgöra skalens kemiska uppbyggnad gav inget tydligt resultat. Avgränsningen på kemisk analys, specifik art (stillahavsostrom (*Magallana gigas*) och blåmusslor (*Mytilus edulis*), artikelns ålder, språk samt geografiskt område för insamling av individer gjorde att inga lämpliga vetenskapliga artiklar hittades som hade genomfört en kemisk analys på skalen för någon av de två arterna. Vid kontakt med relevanta personer gavs tillgång till en analys på skalen från blåmusslor från Odd Lindahl (personlig kommunikation, 2022, 24 februari). Denna ansågs relevant då många ämnen som var intressanta för arbetet hade undersökts samt att analysen var gjord på odlade blåmusslor (*M. edulis*) från svenska västkusten. För ostronen gav kontakten med företaget inget direkt resultat. För grundämnen av intresse utifrån resultat från intervjuerna som inte hade analyserats tidigare i blåmusslor gjordes nya kemiska analyser inom ramarna för detta projekt. Ämnen intressanta för analys var för applikationer som fyllnadsmaterial för kalksten tungmetaller, klor och alkalier. För applikationer inom vattenrening nämnes ämnen såsom kväve, fosfor, arsenik, bly, kadmium, krom, koppar, kvicksilver, nickel och zink vara av störst intresse för analysen. För dessa ämnen gavs ingen information kring gränsvärden. Eftersom ingen relevant information hittades i litteraturen kring ostronskalets kemiska sammansättning valdes alla intressanta grundämnen att undersökas genom egna kemiska analyser.

Resultatet från sökningen kring förhållandet av formerna av kalciumkarbonat i skalen gav något tydligare resultat. Choi & Kim, 2000 undersökte fördelningen av kalcit och aragonit i skalen från stillahavsostrom och visade att ostronskalen är uppdelade i fyra olika lager. Det yttre, mellersta och innersta lagret består av kalcit och myostraciet består av aragonit. Ostronskal består därför nästan uteslutande av kalcit. Myostraciet är området av skalväggen som är fäst till adduktormuskeln. Murphy m.fl, 2019 undersökte fördelningen av kalcit och aragonit i skalen från blåmusslor och visade att skalen består till 20% av aragonit och att dom är uppdelade i åtminstone två olika lager. Det inre lagret består av aragonit och det yttre av kalcit. Dessa resultat tyder därmed på att blåmusselskalen innehåller en högre halt aragonit i förhållande till ostronskalen.

Kemisk analys

Resultatet från den kemiska analysen och jämförelsen mellan arter och med foderkalk redovisas i tabell 3. Tabellen visar skal innehållet för stillahavsostromen från den störda och den ostörda platsen, odlade blåmusslor från scanfjord samt resultatet från den kemiska analysen genomförd av Odd Lindahl (2018). Tabellen innehåller även resultatet från en analys för foderkalk i syfte att kunna jämföra med skal innehållen för att undersöka möjligheten för användning av skal i detta område. Jämförelsen i kemisk sammansättning mellan arterna gjordes mellan medelvärdet för ostronen från de två platserna och värden från analysen för blåmusslorna. Eftersom resultaten skiljde sig mellan våra analyser och analysen från Odd Lindahl för blåmusslor, användes våra resultat för jämförelsen i så stor utsträckning som möjligt. Som resultat av analysens ålder (från 2018) användes andra analysmetoder med högre detektionsgräns jämfört med dom nyare analyserna. Ämnen som ligger under lägsta detektionsgräns kan därmed uppfattas som betydligt mycket högre än vad dom är och kan därmed ge missvisande resultat i analysen. Dessa ämnen valdes därför att exkluderas från analysen.

Resultatet visar en viss variation i kemisk sammansättning mellan arterna. Ämnena som skiljde sig mest (>100%) var molybden och kväve. För dessa ämnen innehöll blåmusselskal högre halter i förhållande till stillahavsostrom. Jämförelsen med innehållet i foderkalk visar att skalen ligger under godkänd gräns för dom flesta ämnena. De ämnen som överskred gränsen

för både ostron och blåmusslor var natrium, fosfor och svavel. Skalen från blåmusslor överskred även värdet för kalcium. För de ämnen som överskred gränsen innehöll ostron en högre halt i förhållande till blåmusslor. Ingen av dessa ämnen benämndes i foderkalks analysen som "oönskade".

Tabell 3. Resultatet från de kemiska analyserna. För ostron samt odlade blåmusslor, är halterna analyserade baserat på icke torkade ostron, men de övriga anges som TS (torrsubstans). Tabellen visar även jämförelsen mellan arter för att undersöka utbyttbarhet samt jämförelsen med analysen för foderkalk för att avgöra potentialen för applicering inom detta område för respektive art. Kolumn a) är färgkodad efter procentuell skillnad enligt förklaring nedan. I kolumn b) och c) indikerar negativt värde under gränsen för godkänt foderkalk, positivt (fetstilat) värde indikerar värden över gränsen för godkänt foderkalk.

Ämnen	Enhet	Foderkalk godkänd för ekologisk produktion (TS) (Oönskade ämnen markeras med *)	Ostron medelvärde	Blåmusslor (Värden kompletterade från analys av Odd Lindahl markeras med **)	Kolumn a) Procentuell skillnad mellan ostron och blåmusslor	Kolumn b) Ostron jämfört med foderkalk	Kolumn c) Blåmusslor jämfört med foderkalk
Metalliska grundämnen							
Magnesium Mg	mg/kg	3000	1500	1400**	7%	-50,00%	-53,33%
Bly Pb	mg/kg	1*	0,23	0,073	68%	-77,00%	-92,70%
Järn Fe	mg/kg	1100	205	160**	22%	-81,36%	-85,45%
Kadmium Cd	mg/kg	0,6*	0,011	<0,01	9%	-98,17%	-98,33%
Kobolt Co	mg/kg	0,5	0,068	-	-	-86,40%	-
Koppar Cu	mg/kg	1,5	0,5	0,45	10%	-66,67%	-70,00%
Krom Cr	mg/kg	3*	0,595	0,21	65%	-80,17%	-93,00%
Kvicksilver Hg	mg/kg	<0,02	<0,02	-	-	0,00%	-
Mangan Mn	mg/kg	500	8,9	11**	24%	-98,22%	-97,80%
Nickel Ni	mg/kg	2*	0,17	<0,05	71%	-91,50%	-97,50%
Vanadin V	mg/kg	-	0,72	-	-	-	-
Zink Zn	mg/kg	10	5,6	0,65	88%	-44,00%	-93,50%
Litium Li	mg/kg	-	<5	<5	0%	-	-
Molybden Mo	mg/kg	-	<0,05	0,11	120%	-	-
Silver Ag	mg/kg	-	<0,05	<0,05	0%	-	-
Natrium Na	mg/kg	500	4500	2900	36%	800,00%	480,00%
Cesium Cs	Bq/kg	-	<10	-	-	-	-
Rubidium Rb	mg/kg	-	0,35	<0,1	71%	-	-
Aluminium Al	mg/kg	1800	220	240**	9%	-87,78%	-86,67%
Kalcium Ca	g/kg	351	270	360	33%	-23,08%	2,56%
Barium Ba	mg/kg	-	2,3	-	-	-	-

Halvmetalliska grundämnen							
Arsenik As	mg/kg	<1,0*	0,27	0,057	79%	-73,00%	-94,30%
Icke-metallisk grundämnen							
Kväve N	mg/kg	-	1105	3900**	253%	-	-
Fosfor P	mg/kg	0,5	230	140	39%	43900,00%	27900,00%
Svavel S	mg/kg	300	1900	860	55%	533,33%	186,67%
Klor Cl	mg/kg	-	4150	700	83%	-	-
Selen Se	mg/kg	-	0,09	-	-	-	-

Förklaring	
0 - 20 %	
20 - 40 %	
40 - 60 %	
60 - 80 %	
80 - 100 %	
100 % +	

Statistiska analyser

Resultatet från den statistiska analysen för skillnaden i grundämnen i skal av ostron från den störda och ostörda platsen visade en icke-signifikant (Wilcoxon signed rank test, $P > 0,05$) skillnad i kemisk sammansättning. Det innebär att värdena för ostronskalens kemiska innehåll från de två lokalerna kan polas och användas som medelvärde för fortsatt analys. Resultatet från den statistiska analysen för skillnad i kemisk sammansättning i skal från stillahavsostrom och blåmusslor visade inte heller någon signifikant skillnad (Wilcoxon signed rank test, $P > 0,05$). Därmed förkastas inte H_0 för hypotes 1, vilket tyder på att skalerna är utbytbara då de har liknande kemisk sammansättning.

Diskussion

Nuvarande och framtida nyttjande av skal

Den systematiska litteratursökningen visade att det finns många olika applikationer för användning av skal från både ostron och blåmusslor. Användningsområden som identifierades var cement, betong & sten, medicin, kalciumkälla hönor, vattenrening, polypropylene, kitin, katalysator för biobränsle, luftrening, jordbruk och design. Inom alla kategorierna anses det i litteraturen finnas en eller flera fördelaktiga applikationer med stor potential inför framtiden. Resultatet från kartläggningen av produkter saknade några kategorier som undersökts i artiklar inom den systematiska litteraturgranskningen, dessa kategorier var som katalysator för biobränsle och utvinning av kitin.

Användningsområden inom kategorin cement, betong och sten sammanfattades till tre applikationer baserat på fyra vetenskapliga artiklar. Ahrenbeck m.fl. (2021) och Andréasson m.fl. (2021) undersökte båda användningen av blåmusselskal som ersättning för kalksten i

cement. Båda undersökningarna fick samma resultat, ersättning med 5% kalcinerat eller okalcinerat skal från blåmusslor behöll en tryckfasthet som krävs för standarden på cement. Detta utbyte kan fördelaktigt ske med okalcinerade skal för lägst miljöpåverkan eftersom kalcinering av skal leder till större mängder koldioxidutsläpp. Vid ett utbyte med okalcinerade skal skulle det årliga koldioxidutsläppet från produktionen av cement leda till en minskning med 114 500 ton. Koldioxidutsläppen skulle även ha potential för snabbare bindning till organiskt material då skal från musslor binder upp koldioxiden i atmosfären betydligt snabbare än vad kalksten gör (Ahrenbeck m.fl., 2021).

Silva m. fl. (2019) undersökte istället möjligheten att skapa ett konstgjort stenmaterial från komposit skapad genom inkorporering av ostronskal i ett polymerharts. Den konstgjorda stenens mekaniska egenskaper utvärderades och ansågs vara bättre i jämförelse med andra naturliga eller konstgjorda stenar som granit eller marmor. Användningsområden som ansågs passande för materialet var exempelvis som bordsskiva eller arbetsbänk i kök. Richardson & Fuller (2013) och Yao m.fl. (2014) fokuserade på användning av snäckskal som delvis ersättning till sand och grov ballast i betong. Resultatet från Richardson & Fuller (2013) visade på att vid ersättning av aggregat med 10% snäckskal sänktes porositeten men betongens tryckfasthet påverkades inte. Vid en ersättning med 50% minskades dock betongens tryckfasthet drastiskt. Resultatet visade även på att betongens vattenpermeabilitet minskade vid 50% ersättning, detta kan påverka betongens hållbarhet positivt trots minskningen i tryckfasthet. Monita m.fl. (2020) undersökte tillsats av skal från hjärtmusslor (*Cerastoderma edule*) i murbruk för användning i dräneringssystem i syfte att öka materialets motståndskraft mot organiska syror. Resultatet från studien visade att skalen försedde murbruket med hög motståndskraft mot sura torvmiljöer och därmed fördelaktigt kan användas som inre beklädnad av dräneringssystem.

Trots att användning inom cement, betong och sten var den största kategorin inom litteraturgranskningen hittades endast en produkt skapad från ostronskal som såldes för denna typ av användning (Amsquare tradelinks, u.å). Detta i kombination med de positiva resultaten från de vetenskapliga studierna tyder på att användningsområdet har stor framtidspotential. Beroende på grad av behandling kan denna applikation, som resultat av ersättning av stora mängder kalksten, ha en stor positiv miljöpåverkan.

Medicinska tillämpningar för skal är ett område för vilket endast produkter skapade från ostronskal hittades. Fujita m.fl, (1990) utvärderar påverkan av ostronskal som genomgått elektrolys som kalciumtillskott för att öka bendensitet. Fujita m.fl. (1988) har tidigare undersökt absorptionsförmågan av ostronskal som genomgått elektrolys i jämförelse med vanligt kalciumkarbonat och fått resultat som tydde på att absorptionen av ostronskalselektrolysat var mer effektiv. Resultatet från den fortsatta undersökningen visade att ostronskalselektrolysat även kan ha en positiv påverkan hos patienter med benskörhet då den tillhandahåller en mer lättillgänglig kalciumkälla (Fujita m. fl, 1990). Som resultat av forskning med positiva resultat inom flera områden hade fortsatt undersökning kring utbytbarhet varit av intresse. Produkterna som hittades på marknaden såldes för användning som kalciumtillskott (Nature's blend, 2022; Solgar, 2022). Forskningen visar däremot på att andra medicinska applikationer även har potential. Hou m.fl. (2016) nämner även andra medicinska tillämpningar för skal från ostron och mussla så som metoder för utvinning av hydroxiapatit för användning inom bland annat bentransplantation. Yao m.fl. (2014) nämner även potentialen för användning av skal från ostron och musslor för antibakteriella och svampdödande effekter. Detta genom omvandling av kalciumkarbonaten i skalen till kalciumoxid (CaO) genom värmebehandling vilket triggar antibakteriell aktivitet i skalen.

Produkter inom detta området har kan möjligtvis redan existera idag men missats inom webbsökningen som resultat av att medicinska produkter säljs genom specialbeställning och inte annonseras på webbsidor för allmänheten.

Inom kategorin vattenrening identifierades fyra artiklar, tre stycken centrerade kring upptag av fosfor och en kring rening av miljögifter. Martins m.fl. (2017) undersökte användningen av ostronskal som olika behandlingar för avlägsnande av fosfor i havsvatten med syfte att minska utsläpp från marint vattenbruk. Resultatet visade på att speciellt kalcinerade ostronskal var en effektiv bioadsorbent vid avlägsnande av fosfor ur havsvatten. Auckland Regional Council (2010) granskade potentialen hos snäckskal från grönläppad mussla (*Perna canaliculus*) vid rening av dagvatten. Även denna studie gav ett positivt utfall då resultatet indikerade att krossade musselskal hade stor potential vid rening av dagvatten från städer innehållande löst zink och koppar och potentiellt även bly och kadmium. Utöver detta visade även resultatet på att skal behandlade med hög värme hade potential att ta upp löst fosfor från vattnet. Kim m.fl. (2020) fokuserade på utvecklingen av ett nytt filtreringssystem för borttagning av organiskt material i form av alger i sjöar genom att använda kalcinerade ostronskal och ferrihydrit som medium i ett filter. Användning av detta system resulterade i en minskning på 92% fosfor, 78,8% klorofyll-a och 43,6% alginat. I artikeln av Khirul m.fl. (2020) undersöktes istället saneringseffekten hos behandlat ostronskalspulver för organiskt anrikat botten sediment med syfte att minska övergödning. Resultatet visade på att behandlat ostronskalspulver fungerade bra som miljösaneringsmedel för att förbättra vattenkvaliteten, minska övergödning och kontrollera skadliga marina algbloomningar.

Användningen av skal för vattenrening fanns representerade för både musslor och ostron som produkter (Danshells, 2022; Dammbutiken, 2022; Wiltec, 2022). Denna applikation var relativt utvecklad som produkt för småskalig användning (exempelvis för stabilisering av pH-värde i dammar). Eftersom forskning tyder på att användning för skal inom vattenrening har potential inom flera områden hade fortsatt utveckling varit intressant. Utifrån intervjun med företaget Flexiclean visades även intresse för utveckling av skal som filtermedium för användning inom rening av dagvatten. Detta tyder även på att det finns intresse av fortsatt inkorporering av skal inom detta område.

Hamester m. fl. (2012) undersökte möjligheten att använda skal från musslor och ostron för att utvinna ren kalciumkarbonat som sedan skulle kunna användas som fyllnadsmedel i polypropen som alternativ till kommersiell kalciumkarbonat. Materialets termiska och mekaniska egenskaper utvärderades och resultatet visar att kalciumkarbonat från skal från musslor och ostron har potential att ersätta det kommersiella alternativet i detta syfte. Även artikeln av Yao m.fl. (2014) nämner denna applikation för skal från ostron och musslor. Detta området innehöll endast en produkt skapad från ostron (Amsquare tradelinks, u.å). Det hade därmed varit intressant med fortsatt utvecklingen av marknaden kring musslor för detta område eftersom forskning tyder på att både skal från ostron och musslor har potential. Inom intervjun med företaget Trioworld nämns ett tidigare projekt då målet var att blanda in 25% biologiskt förnyelsebart material (granulat från ostronskal) i plast för tillverkning av plastpåsar. Detta gjordes för att minska koldioxidutsläppen i motsvarande grad. Projektet är idag inte aktivt då man istället använder återanvänt plastmaterial vilket ger bättre effekter för minskat koldioxidutsläpp. Även fast applikationen för ostronskal som filler i plastpåsar inte är relevant idag så kan man se en framtid för materialet inom livsmedelsförpackning. I livsmedelsförpackningar är det inte tillåtet att använda återvunnet material då allt material måste vara spårbart. Det innebär att ostronskal skulle vara ett bättre alternativ för minskade koldioxidutsläpp inom just denna tillämpning.

Ytterligare en tillämpning av skal som hittades i litteratursökningen var som kalciumkälla till värpande hönor. Olgun m. fl. (2015) undersöker hur olika kalciumkällor påverkar hönornas äggskals kvalitet, prestanda (äggproduktionen) och mineralutsöndring. Resultatet visade att ersättning av kalcium med upp till en tredjedel ostronskal hade en positiv effekt på äggskalens vikt. Dock hade ersättningen en negativ effekt på äggets massa och hönans foderintag. Resultatet visade även att ostronskal sänkte utsöndringen av kalcium i jämförelse med kalksten. Studien visade därmed att mata värpande hönor med ostronskal som kalciumkälla inte gav någon fördel för prestandan i jämförelse med kalksten. Även artikeln av Hou m.fl. (2016) och Yao m.fl. (2014) nämner denna applikation för skal från ostron och musslor. Resultaten visade att musselskal var en passande kalciumkälla för hönor. Inom denna kategori fanns många produkter på marknaden skapade från båda ostron och musslor (Van der Endt-Louwerse, u.å; Marriages, u.å; Manna Pro, 2022; Danshells, 2022). Potential för utbyte av kalksten för användning till foderkalk som används som kalciumtillskott till andra djur är även intressant eftersom skalen visat potential inom detta området inom jämförelseanalysen. För fortsatt diskussion om potential kring användning av skal inom foderkalk se diskussionen kring kemisk analys.

För jordbrukskategorin hittades 3 artiklar fokuserade på applikationer som gödslingsmedel och neutralisering av sura pH-värden i jorden. Olrog & Christensson (2003) undersökte påverkan av att använda musselrester (skal och kött) från blåmusslor inom jordbruket i form av gödslingsmedel. Eftersom musselodlingar har stor potential för upptaget av höga halter näringsämnen i vattnet kan jordbruket och vattenbruket på så vis kopplas samman. Resultatet från denna studie tyder på att musselrester har god potential som gödslingsmedel då resterna har använts till jordbruk i liten skala. Att använda båda skal och kött från molluskerna skulle förenkla processeringen av skal som produkt då ingen mekanik för separering krävs. Seesanong m.fl. (2021) fokuserade istället på att undersöka ostronskal och fosforsyra för erhållning av trippel superfosfat (TSP, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Trippel superfosfat skapas vanligtvis genom att tillsätta fosforsyra till fosforit och har använts i stor grad inom jordbruk för gödning men har även många andra applikationer. Fosforit bryts från berggrunden och är en begränsad källa med ett långsammare kretslopp, i dagens läge räknar man med att tillgången kommer räcka i 50-100 år till (Cordell m.fl., 2009). Den höga användningen av fosforit för konstgödseltillverkning har resulterat i minskade reserver och en prisökning för resursen på runt 300%. Resultaten från studien tydde på att trippel superfosfat skapat från ostronskal och fosforsyra fördelaktigt kan användas som gödslingsmedel utan metalltoxiska föreningar. Med hjälp av denna metod kan gödselindustrin ersätta ohållbara material som exempelvis fosfor- och kalcium mineraler från icke-levande källor (Seesanong m.fl., 2021). Yao m.fl. (2014) nämner flera artiklar som undersökt potentialen att använda skal för naturalisering av pH-värde på sura jordar med positiva resultat. Inom området jordbruk hittades endast produkter skapade från musslor som såldes med syfte att neutralisera sura pH-värden, som dekoration i trädgårdar samt för att undvika is och snö på vägar (Musselfeed, 2021; Danshells, 2022). Eftersom forskningen tyder på att även ostronskal har potential inom detta område kan denna aspekt vara intressant att undersöka vidare. Att utveckla marknaden kring skal inom jordbruk till flera områden (som exempelvis gödslingsmedel) är även av intresse.

Två artiklar hittades med fokus på att använda skal som katalysator vid tillverkning av biobränsle. Taufiq-Yap m. fl. (2012) undersöker potentialen att använda skal från mussla (*Orbicularia orbiculata*) för att utveckla en mer miljövänlig och ekonomiskt gynnsam process för produktion av biobränsle. Skalen från musslorna användes i detta fall som källa

till kalciumoxid (CaO) som framtoogs genom krossning och kalcinering. Resultatet från studien visade att effektiviteten hos kalciumoxiden från musselskal var jämförbar med en kommersiell kalciumoxid-katalysator. Yao m.fl. (2014) nämner potentialen för produktion av biobrännse genom utvinning av kalciumoxid från ostron och musslor för användning som heterogen katalysator. Inga produkter hittades inom webbsökningen för denna typ av användning. Det kan bero på att denna applikation fortfarande är i utvecklingsstadiet och bygger på nyare forskning eller att applikationerna inte är ekonomiskt genomförbara. Det kan även bero på att denna typ av produkt säljs genom specialbeställning och därmed inte annonseras på hemsidor.

Två artiklar som undersökte om skal från ostron och musslor kan användas för utvinning av kitin, även kallat poly 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucose. Kitin är en mångsidig och miljövänlig polysackarid som har tillämpningar inom flertal områden såsom medicin, livsmedel, jordbruk, kosmetik och bioteknik (Alabaraoye m.fl, 2018). Artikeln av Alabaraoye m.fl. (2018) undersöker om kitin kan utvinnas ur marina skal från bland annat ostron och musslor genom att använda kemiska metoder såsom deproteinisering och demineralisering. Resultatet visade att metoden var effektiv och att utvinning av kitin från ostronskal gav en högre mängd (69,65%) i jämförelse med musselskal (35,03%). Artikeln av Hou m.fl. (2016) undersökte också olika metoder för utvinning av kitin för både ostron och musslor. Att använda skal för utvinning av kitin hittades inte inom kartläggningen av produkter. Precis som för användning som katalysator för biobrännse kan det bero på att denna applikation fortfarande är i utvecklingsstadiet, inte är ekonomiskt genomförbar eller säljs genom specialbeställning. Eftersom ämnet har stor potential inom många områden är utvecklingen kring denna metod ytterst intressant för etablering på marknaden.

Inom kategorin design hittades en artikel av Andersson (2020) som undersöker skal från blåmusslor för utveckling av ett biologiskt nedbrytbart material som kan användas till utformning av inredningsprodukter. Slutresultatet framtaget via en materialdriven designprocess blev ett materialkoncept vid namn "Muscel" skapat av krossade skal från blåmusslor, vatten och alginat. Användningsområdet som presenteras för materialet var dekorativa ljushållare (Andersson, 2020). Området design hade dock stor närvaro som redan etablerad produkt (Mia Larsson Jewelry, u.å; Etsy, u.åa; Etsy, u.åb; Tessuti fabrics, u.å; Buy way of charleston, 2021; Pigeon and poodle, u.å) men låg närvaro inom fokus för forskning. Underrepresentation inom forskning kan bero på att tillverkning av designprodukter inte kräver forskning för vetenskaplig utvärdering av potential innan tillverkning, på samma sätt som exempelvis luft- eller vattenrening gör. Inom intervjuerna med företagen Mia Larsson Jewelry och Studio Demos ansågs tillverkning av designprodukter (smycken och inredningsartiklar) ha stor potential inför framtiden.

Yao m.fl. (2014) nämner även potential för skal från ostron vid användning för luftrening från sura gaser. Genom utvinning omvandling av kalciumkarbonat till kalciumoxid (CaO) eller kalciumhydroxid med högre reaktivitet genom exempelvis kalcinering, kan skalen användas som absorptionsmedium. Inom denna kategori hittades endast en produkt skapad från musselskal (Danshells, 2022). Utbyttbarheten med ostronskal för användning inom detta området anses därför vara av intresse för fortsatt utveckling och undersökning.

Inom kategorin övrigt hittades endast etablerade produkter (Amsquare tradelinks, u.å; Soöruz, 2022; Timber tones, 2022). Precis som området design kan underrepresentation inom forskning bero på att tillverkning av produkter som dessa (våtdräkt och gitarrplektrum) inte kräver forskning för vetenskaplig utvärdering av områdets potential innan användning.

Ytterligare ett intressant resultat är prissättningen på vådräkten skapad från ostronskal som hittades vid kartläggningen av produkter. Vådräkten som hittades kostade 2992 kronor, jämfört med priset på en vanlig vådräkt som kostar ca 500-2500 kr. Detta indikerar att denna typ av miljövänliga produkt kan erhålla ett premiumpris vilket kan komma att verka gynnsamt för fortsatt utveckling av miljövänliga produkter.

Användningsområden för respektive art skiljde sig inte åt signifikant mellan den systematiska litteraturstudien och kartläggningen av produkter. Dock kunde vissa skillnader i användningen av skalerna inom olika områden mellan metoderna observeras visuellt. Exempelvis kan man se att ostronskal representeras i flera användningsområden i förhållande till blåmusslor, både inom litteraturen och som produkter. Detta kan troligtvis kopplas till artens popularitet inom akvakultur samt stora geografiska spridning. På motsvarande sätt var jämförelsen mellan antal användningsområden för respektive art för de två olika metoderna (systematisk litteraturgranskning och kartläggning av produkter) icke signifikant. Det innebär att det inte fanns en signifikant skillnad i fördelningen av antal användningsområden inom fokus för forskning och som redan etablerade produkter, vilket tyder på att marknaden för skal från båda arterna är lika etablerad. Det tyder även på att marknaden är starkt influerad av forskningen eller tvärtom.

Resultatet visar även att fördelningen mellan musslor och ostron påverkades av geografiskt område, sökordens språk samt art. Alla artiklar från den svenska sökningen gav endast artiklar om blåmusslor och den engelska sökningen inkluderade en större mängd ostron. Även om andra arterna av musslor som undersöktes var starkt kopplade till deras inhemska område. Detta är troligtvis kopplat till intresse för att utveckla nya produkter från lokala resurser. Det är därför logiskt att ostronen, som har störst geografisk spridning, även har undersökts mer inom forskning i olika länder.

Resultatet från intervjuerna ger en bild av att det finns flera etablerade och potentiella användningsområden för skal och täcker upp områden som design, jordbruk, polyetylen fyllnadsmaterial, cement filler och vattenrening. Företagen med produkter redan på marknaden är exempelvis Mia Larsson Jewelry och Musselfeed. Intervjuerna visade att det finns ett stort driv att fortsätta utveckla verksamheten kring skal. För dessa etablerade produkter hämtades ostronskalerna till största del från restauranger och blåmusselskalerna från sidosrömmar från odling. Intervjun med Trioworld visade även på att ostronskal kan köpas från Asien där de också kan förbehandlas inför applikationer som fyllnadsmaterial i polypropylene. Musselfeed var det enda företaget som har utvecklat en produktionskedja för separation av skal och kött för blåmusslor i Sverige. Detta är en produktionskedja som anses kunna anpassas för att fungera även för ostron. Att utveckla denna teknik skulle kunna öppna dörrar för användning av bortrensade stillahavsostron i samband med förvaltningsåtgärder mot främmande arter i Sverige då mekanisk separation hade gett oss möjligheten att behandla större mängder skal.

Kemisk analys

Resultatet från analysen kring skillnad i kemisk sammansättning i skal från musslor och ostron tyder på att uppbyggnaden inte skiljer sig signifikant mellan arterna. Om något av ämnena med högst skillnad mellan arterna däremot anses vara begränsande för en viss applikation kan utbyttbarheten behöva undersökas vidare. De ämnen som skiljde sig mest var molybden och kväve, för vilka blåmusselskalerna hade högre värden i jämförelse med stillahavsostron. Om något av dessa ämnen har potential att vara problematiska för en viss applikation kan det därmed vara fördelaktigt att använda skal från ostron för dessa områden,

och tvärtom för värden där ostronskal innehåller en högre halt som exempelvis klor, zink och rubidium (se tabell 3). Då det inte hittades information om gränsvärden inom flera områden går det inte att säga om skalens i dessa fall skulle vara utbytbara. Framtida arbeten kan däremot använda analysen som genomförts inom detta arbete för att utvärdera skalens användningspotential kopplat till specifika gränsvärden.

För jämförelsen med foderkalk godkänd för ekologisk produktion låg de flesta ämnena under gränsvärdena. Dom ämnena som överskred halten av ett visst ämne i jämförelse med foderkalket var natrium, fosfor och svavel för både ostronen och musslorna. Dessa ämnen kan därmed vara viktiga att ta i beaktning för applikationer som kalkstens substitut. Att värden för vissa ämnen skiljer sig från foderkalket behöver inte nödvändigtvis vara negativt eller utesluta applicering eftersom analysbladet som används som jämförelse inte redovisar gränsvärden. Det ger därmed endast en indikation om vilka ämnen som är intressanta att undersöka. Ämnen som markerats i analysen som "oönskade" var kadmium, bly, nickel, krom och arsenik. För alla dessa ämnen låg innehållet under värdet för det godkända foderkalket vilket positivt indikerar att skal från både stillahavsostron och blåmusslor har potential att användas inom detta område. Intervjun med företaget Nordkalk tyder även på att det finns ett intresse att inkorporera skal i kalkprodukter för ersättning av kalksten. Detta för att finnas med i framtida projekt där de kan visa att kalkbranschen inte endast är en miljöförstörare.

Resultaten från jämförelsen har potential att påverkas av behandlingen av provmaterialet för de olika analyserna. Analysen för kemisk sammansättning (för både ostron och musslor) inom detta arbete är gjord på våtvikt av skal eftersom skalens inte blivit torkade innan analys. Detta gjordes däremot inom den äldre analysen för blåmusslor samt för analysen för foderkalk. Detta kan därför vara en felkälla som kan leda till att resultaten från analyserna gjorda inom arbetet har en något underskattad halt av ämnen i jämförelse med torrsustans. Eftersom skal inte innehåller stora mängder vatten (<10% i genomsnitt) (Å. Strand, personlig kommunikation, 31 maj, 2022) så borde inte resultatet påverkas mycket av detta.

Utmaningar med integrering av skal i olika produkter

Mängden tillgängliga skal anses vara en begränsande faktor, enligt Swerock. I övriga intervjuer betraktades inte detta som ett problem. I fallen då skalens används som fyllnadsmaterial skulle de delvis kunna blandas ut med materialet man vill ersätta som exempelvis kalksten eller plast. Därmed behöver inte skalens utgöra den totala mängden material som används. Ytterligare begränsningar som togs upp under intervjuerna var att skalens skulle behöva rengöras för att undvika inklusion av salt från vattnet och organiskt material (som bland annat alger) som kan växa på skalens. Detta skulle möjligen kunna påverka materialets kemiska sammansättning och därmed den slutgiltiga produkten. Det är därför viktigt att tänka på rengöringen vid utvecklingen av behandling för skalens. En annan viktig aspekt att undersöka vidare är materialens återvinningspotential. I intervjun med Trioworld nämndes att för mycket ostronskal som filler kan påverka möjligheten att återvinna plastmaterialet. Återvinningsaspekten nämndes även under intervjun med Flexiclean då skalens kan användas som filter och möjligtvis kan absorbera miljöfarliga ämnen och därmed eventuellt måste tas om hand som miljöfarligt avfall, vilket försvårar hanteringen och ökar kostnaderna. Detta är därför en viktig aspekt att undersöka vidare.

Som tidigare nämnt kan skalens fungera som ett sätt att fixera kol och minska klimateffekter. Men användningsområdet för skalens och processtegen som behöver tas för att ta fram olika produkter kan påverka skalens lönsamhet i detta beaktande. Yao m. fl. (2014) och Alvarenga m.fl. (2012) identifierar aspekter som behöver inkluderas i hållbarhetsanalysen av skalens

användning. Bland annat diskuteras att avståndet mellan platser för insamling av skal och platsen för återvinning måste tas hänsyn till. Detta för att miljövinsten av att återanvända skalen ska vara positiv. Undersökningen visar på att avståndet inte bör vara större än 323 kilometer (Alvarenga m.fl. 2012). Yao m. fl. (2014) diskuterar även att applikationer med störst miljövinster är baserade på kalciumkarbonaten ($CaCO_3$) i skalen. Att behandla skalen med kalcinering för framställning av kalciumoxid (CaO) har större miljöpåverkan på grund av restprodukten koldioxid (CO_2) samt energimängden som krävs för uppvärmningen. Även undersökning kring processens carbon footprint genom LCA studier är intressanta för att undersöka den miljömässiga lönsamheten av skal inom olika områden (Å. Strand, personlig kommunikation, 19 maj, 2022). Dessa är viktiga aspekter att hålla i beaktande vid beslut kring utveckling av olika produkter och produktionskedjor. Figur 4 visar ett flödesschema som sammanfattar de olika områdena för skal samt graden av behandling som krävs för respektive område.

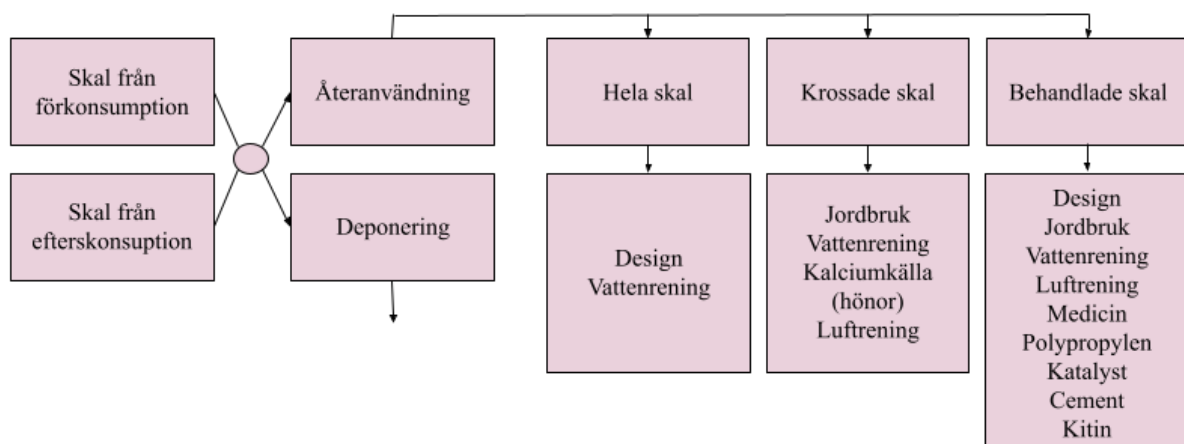


Fig. 4 Flödesschema med potentiella och nuvarande användningsområden för skal från stillahavsstron och blåmusslor samt grad av behandling

Prissättningen av produkter är också en påverkande faktor för utveckling av marknaden kring skal. Resultatet från intervjuer och kartläggningen av produkter visar att applikationer som fillermaterial vid ersättning av kalkstensmjöl, filtermaterial vid vattenrening och jordbruk kräver låga priser för effektivt utbyte. Detta som resultat av att materialen som används i dagsläget köps in för väldigt låga priser. Ett utbyte mot ett dyrare material är därmed inte av intresse. Dessa applikationer skulle troligtvis vara enklast processmässigt men har en lägre ekonomisk potential i jämförelse med andra tillämpningar. Områden som gav skalen något högre ekonomiskt värde var som kalciumtillskott till hönor, vattenrening för applikationer inom privata fiskdammar samt medicin. Användningsområdet då skalen fick högst ekonomiskt värde var inom design. Resultatet tyder därmed på att det finns en trade off mellan volym av skal och prissättningen. Applikationer inom design område kräver dock i vissa fall hela skal av fin kvalitet och kanske därför inte är intresserade av exempelvis missformade skal eller skal med mycket påväxt. Hela skal kan heller inte hämtas efter mekanisk separering utan detta område kräver i sådana fall hämtning av överblivna skal från restauranger. Denna typ av separation kan därmed begränsa användningen. I intervjun med Studio Demos och Mia Larsson Jewelry nämndes dock potentialen att utforma bland annat möbler och smycken från komposit skapad från krossade skal. Att sälja krossade skal i detta syfte hade även gett mekaniskt separerade skal ett högt ekonomiskt värde. En negativ aspekt för applikationer inom design är att marknaden mätts relativt fort i jämförelse med

exempelvis fillermaterial i cement som alltid kommer kräva stora mängder. Beroende på mängden skal som skördas kan även detta vara viktigt att tänka på.

Vägen framåt

För framtida forskning hade det varit intressant att undersöka hur begränsningarna för olika applikationer kan reduceras. Att exempelvis undersöka skalens återvinningspotential efter användning som plastförpackning, fillermaterial eller filtermaterial är viktigt för att resursen ska få ett cirkulärt flöde. Även fortsatta studier kring vad som krävs praktiskt för utveckling de olika applikationerna hade även varit av intresse, dels centrerat till produktens prestanda och dels kring hur skalen kan implementeras. Att utveckla hållbara produktionskedjor med avseende på materialets miljövinst och förlust vid produktion och frakt är essentiellt. Även hur separationen av skal och kött skal gå till för effektiv användning kräver vidare utveckling. Utveckling i samarbete med MusselFeed som redan har en etablerad process för separation för blåmusslor hade därför varit en intressant väg att utreda vidare.

Ytterligare en intressant aspekt att undersöka vidare är vad restauranger gör av skalen efter konsumtion av kött och hur avfallsanläggningar ser på dem. Detta för att få en helhetsbild över hur överblivna skal behandlas i dagsläget och hur stora mängder skal som slängs idag. För att dra nytta av dessa överblivna skal och inte endast rester från odling och rensningssåtgärder kan det vara spännande att undersöka hur man kan effektivisera insamling och implementering av även dessa skal. Fördelen med detta är även att skal från restauranger redan är separerade från köttet vilket förenklar processhanteringen.

Att undersöka variation i kemisk sammansättning i ostronskal mellan olika skördeområden på den svenska västkusten hade även varit en viktig fortsättning för att förstå tillgängligheten av skal för framtida användning. Insamlingen som gjordes var endast en provtagning från två olika platser vilket betyder att resultatet inte kan säga något om den totala variationen i kemisk sammansättning hos den svenska ostron populationen, utan endast ger en indikation om skillnad i kemisk sammansättning mellan två lokaler. Att ta reda på om skal från mer störda områden har potential att ta upp mer tungmetaller hade därför varit intressant att undersöka vidare på flera olika lokaler för att få ett starkare resultat inom denna fråga. Även för blåmusslor borde analyser genomföras från flera odlingsområden för att få en bild av hur den kemiska sammansättningen kan variera geografiskt. På grund av kostnaden för analyserna kunde dock inte fler prover analyseras i detta projekt.

Resultatet från litteratursökningen kring förhållandet mellan calcit och aragonit i skalen tyder på att blåmusslor har högre halt aragonit i förhållande till ostronen. Eftersom aragonit har högre densitet och hårdhet skulle det kunna påverka strukturen på material skapade från skal. Att jämföra mekaniska egenskaper för material skapade från både ostron och blåmusslor hade därmed vara intressant för framtida forskning. Material som kräver hög tryckfasthet (som exempelvis betong för användning i vägar eller byggnation) kanske därför föredrar att använda blåmusslor medan vid tillverkning av lättare material som inte kräver lika hög hållfasthet (som exempelvis möbler eller målarfärg) så kan skal från ostron vara att föredra.

Eftersom många produkter som granskats inom denna studie är kalkbaserade är det även viktigt att undersöka hur detta kommer påverkas av havsförsurningen. Som resultat av den ökade halten av koldioxid i atmosfären sänks även pH-värdet i haven. Den surare havsmiljön leder även till förändringar av viktiga komponenter i havsvattnet. Bland annat minskar mängden karbonat som många arter, inklusive musslor och ostron, använder för att bygga upp sina skelett och skal (Gattuso & Hansson 2011). I en undersökning av Yuan. m. fl. (2018)

undersöks styrkan och strukturen i skal från portugisiska ostron (*Magallana angulata*) efter exponering för olika pH-värden. Resultatet visade en försämring i styrka och struktur (ökad porositet) efter dom utsatts för lägre pH. En påverkan i skalens struktur har även potential att påverka strukturen på material skapade från skal. Eventuellt skulle även en förändring i kemisk sammansättning kunna ske som resultat av högre halter tungmetaller i haven i framtiden samt minskade karbonat halter. Applikationer med starka begränsningar på kemiskt innehåll eller utvinning av kalciumkarbonat kan därmed komma att missgynnas i framtiden.

Slutsats

Användningsområden som identifierades inom den systematiska litteraturstudien var cement, betong & sten, medicin, kalciumkälla hönor, vattenrening, polypropylene, kitin, katalys biobränsle, luftrening, jordbruk och design. Alla användningsområden från den systematiska litteraturstudien ansågs ha framtidspotential. Områden som redan har etablerade produkter på marknaden var cement, betong & sten, medicin, kalciumkälla hönor, vattenrening, polypropylene, luftrening, design, jordbruk och övriga applikationer. Användningsområden för respektive art skiljde sig inte åt vare sig i den systematiska litteraturstudien och kartläggningen av produkter. Detta tyder på att de två arterna är utbytbara i olika produkter. Den jämförelse analysen tyder även på att skalerna är utbytbara för applikationer som exempelvis foderkalk. Inom vissa områden kan det däremot vara viktigt att undersöka vilket av skalerna som bäst lämpar sig för produkttypen då några ämnen som kan påverka applicering skiljde sig mycket mellan arterna. Att ämnen skiljde sig mycket behöver nödvändigtvis inte ha någon påverkan på utbytbarheten då både värdena för ostron och musslor ligger under tillåtna gränser. Skillnaden har däremot potential att påverka då värdena för en eller båda arterna överskrider gränsvärden för vissa applikationer. Det går därför inte att säga att stillahavsostren och blåmusslor är utbytbara för alla typer av produkter då gränsvärdena kan skilja sig mycket åt mellan olika appliceringar.

Prismässigt tyder kartläggningen av produkter på att användning inom designområdet ge skalerna högst ekonomiskt värde. Även vattenrening och medicin placerade skalerna i en högre prisklass. Många av dom övriga användningsområdena kräver däremot en lägre prisklass som resultat av att utbytet mot skal sker med ett redan lågt prissatt material som exempelvis kalksten. Fortsatt undersökning kring begränsningar som exempelvis kemiskt innehåll och återvinningspotential krävs för utformning av cirkulär användning av skal. Enligt resultat från den systematiska litteraturgranskningen ansågs obehandlade skal vara bäst ur ett miljöperspektiv då krossning, kemisk behandling eller kalcinering av skal leder till större koldioxidutsläpp. Även transportdistansen är viktig att minimera för att undvika större miljöpåverkan.

Etablerade produktionskedjor för skal i Sverige hittades endast från företaget Musselfeed som utvecklat en teknik för separering av skal och kött för blåmusslor. Detta skulle troligen kunna appliceras på ostron också. Tills en produktionskedja är etablerad för separation är det svårt att dra nytta av skalerna från individer som inte lämpar sig för livsmedelsanvändning, till exempel från rensningsförsök. Däremot tillkommer skal från restauranger som skulle kunna nyttjas mer redan idag. Resultatet från arbetet kan även appliceras på dessa skal vilka inte kräver utveckling av en produktionskedja för separation för att öka återanvändning av material redan idag.

Detta arbetet presenterar applikationer för skal med stor potential och ekonomisk lönsamhet. Det hjälper oss i dagens läge att avgöra vilka områden för återanvändning av skal som är

värda att utveckla processmässigt för en framtida gynnsam marknad kring skal. Användningen av skal är essentiellt för en mer ekonomiskt cirkulär odling och förvaltning av mollusker. Att dra nytta av individer som inte lämpar sig för livsmedelsförsäljning genom integrering inom några av de presenterade användningsområdena tillåter därmed fortsatt utveckling av förvaltningsstrategier för stillahavsostron samt kan bidra med ekonomisk stöttning för forskning kring odling av blåmusslor i vattenrenings syften.

Tackord

Tack till mina handledare Åsa Strand och Anna-Lisa Wrangé som har väglett mig genom mitt arbete. Jag vill även tacka Magnus Jansson för assistans vid fältarbetet och Charlotta Kvarnemo och medverkande lärare för en väl strukturerad kurs. Tack till Elisa Hedin och Frida McDavitt Wallin från Studio Demos, Peter Martinsson och Oskar Linderöth från Swerock, Mia Larsson från Mia Larsson Jewelry, Jessica Vacklid från Musselfeed, Lars Lundin från Trioworld, Peder Eneröth från Flexiclean och Mikael Wendel från Nordkalk för medverkande i intervjuerna. Tillslut vill jag även tacka Sam Dupont för återkoppling och granskning av min uppsats.

Referenser

- Ahrenbeck, M., Benskiöld, A., Gannholm, A., Nilsson, E., Storm, C. F., & Strand, R. (2021). *Blåmusselskal – ett hållbart alternativ till den kontroversiella cementen -En jämförande studie av substitution med kalcinerat blåmusselskal vid tillverkning av hydrauliskt bindemedel*. [Kandidatuppsats, Chalmers tekniska högskola]. <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302885>
- Alabaraoye, E., Achilonu, M., & Hester, R. (2018). Biopolymer (Chitin) from Various Marine Seashell Wastes: Isolation and Characterization. *J Polym Environment*, 26. 2207–2218. <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/s10924-017-1118-y>
- Alvarenga, R., Galindro, B. M., Helpa, C. F. & Soares, S. R. (2012). The recycling of oyster shells: An environmental analysis using Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management*, 106. 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.017>
- Amsquare tradelinks. (u.å). *Oyster Shell Powder Calcium Carbonate, Grade Standard: Food Grade*. <https://www.indiamart.com/proddetail/oyster-shell-powder-calcium-carbonate-18282686833.html>
- Andersson, S. (2020). *Musslor som material – En studie om att använda musslor för material utveckling genom en materialdriven designprocess för en cirkulär ekonomi*. [Kandidatuppsats, Malmö universitet]. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mau:diva-23448>
- Andréasson, F., Larsen F. B., Iwarsson, E., Lövström, L. M., Qvist, A., & Thorén, J. (2021). *Användning av skal från blåmusslan Mytilus edulis som substitut till cement - En studie med fokus på den kemiska kompositionen och dess inverkan på tryckhållfastheten*.

[Kandidatuppsats, Chalmers tekniska högskola].
<https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302890>

Aragonit. (2021, 14 mars). I *Wikipedia*. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Aragonit>

Auckland Regional Council. (2010). *Potential of Mussel Shell as a Biosorbent for Stormwater Treatment*.
<https://knowledgeauckland.org.nz/media/1787/tr2010-046-potential-of-mussel-shell-as-a-bio-sorbent-for-stormwater-treatment.pdf>

Buy way of charleston. (2021). *Ocean Painted Oyster Shell Dish*.
<https://www.buywayofcharleston.com/charleston-classic-gifts/ocean-painted-oyster-shell-one>

Choi, C., & Kim, Y. A study of the correlation between organic matrices and nanocomposite materials in oyster shell formation, *Biomaterials*, Volume 21, Issue 3, 2000, Pages 213-222.
[https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00120-9](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00120-9)

Cordell, D., Drangert, J., & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2).
<https://www.sciencedirect-com.ezproxy.ub.gu.se/science/article/pii/S095937800800099X>

Dammbutiken. (2022). *Ostronskal i nätpåse 5kg*.
<https://www.dammbutiken.se/ostronskal-i-natpase-5kg>

Danshells. (2022). *Myssel shells*. <https://danshells.dk/en/myssel-shells/>

Dolmer, P., Holm, M. W., Strand, Å., Lindegarth, S., Bodvin, T., Norling, P., & Mortensen, S. (2014). The invasive Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Scandinavia coastal waters: A risk assessment on the impact in different habitats and climate conditions. *Institute of Marine Research*. Fisken og Havet Vol. 2
http://www.imr.no/filarkiv/2014/03/fh_2-2014_til_web.pdf/nb-no

Etsy. (u.åa). *Blue mussel shell art*.
<https://www.etsy.com/search?q=blue%20mussel%20shell%20art>

Etsy. (u.åb). *Oyster shell art*. https://www.etsy.com/market/oyster_shell_art

FAO. (2009). *Crassostrea gigas*. In *Cultured aquatic species fact sheets*.
https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/en/en_pacifi_ccuppedoyster.htm

Faust, E., André, C., Meurling, S., Kochmann, J., Christiansen, H., Jensen, L., Strand, &. (2017). Origin and route of establishment of the invasive Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Scandinavia. *Marine Ecology Progress Series*, 575, 95-105.
<https://www.jstor-org.ezproxy.ub.gu.se/stable/26403652?sid=primo&seq=1>

Forsberg, C. & Wengström, Y. (2016). *Att Göra Systematiska Litteraturstudier : Värdering, Analys Och Presentation Av Omvårdnadsforskning*. Natur & Kultur, Akademisk.

Friberg, F. (2017). *Dags För Uppsats : Vägledning För Litteraturbaserade Examensarbeten*. Studentlitteratur.

Fujita, T., Fukase, M., Miyamoto, H., Matsumoto, T., & Ohue, T. (1990). Increase of bone mineral density by calcium supplement with oyster shell electrolyte. *Bone and mineral*, 11(1), 85–91. [https://doi.org/10.1016/0169-6009\(90\)90017-a](https://doi.org/10.1016/0169-6009(90)90017-a)

Fujita, T., Fukase, M., Nakada, M., & Koishi, M. (1988). Intestinal absorption of oyster shell electrolyte. *Bone and mineral*, 4(4). 321–327. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3191287/>

Gattuso, J., & Hansson, L. (2011). *Ocean acidification*. Oxford university press. https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=8yjNFxkALjIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=ocean+acidification&ots=NitTPNcjW_&sig=I3JmcRWm5eDWAgeex2PUwlrwuy0&redir_esc=y#v=onepage&q=ocean%20acidification&f=false

Hamester, M., Balzer, P., & Becker, D. (2012). Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene. *Materials Research*, 15. 204-208. https://www.researchgate.net/publication/262470680_Characterization_of_Calcium_Carbonate_Obtained_from_Oyster_and_Mussel_Shells_and_Incorporation_in_Polypropylene

Havs- och vattenmyndigheten. (2015-12-03). *Risker med främmande arter*. Hämtad 2022-01-25, från: <https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/frammande-arter/risker-med-frammande-arter.html>

Hinchcliffe, J. (2019). A circular economy approach for sustainable feed in Swedish aquaculture: A nutrition and physiology perspective. [Doktorsavhandling, Göteborgs universitet]. https://gupea.uu.se/bitstream/handle/2077/61866/gupea_2077_61866_3.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Hou, Y., Shavandi, A., Carne, A., Bekhit, A. A., Ng, T. B., Cheung, R. C. F., & Bekhit, A. E. A. (2016) Marine shells: Potential opportunities for extraction of functional and health-promoting materials, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46. 11-12. [10.1080/10643389.2016.1202669](https://doi.org/10.1080/10643389.2016.1202669)

IVL Svenska miljöinstitutet. (2022, 18 maj). *DynamO – Dynamisk förvaltning av stillahavsströmmar*. <https://www.ivl.se/projektwebbar/dynamo.html>

Jones, C., Lawton, J., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3), 373-386. <https://www.jstor-org.ezproxy.uu.se/stable/3545850?sid=primo&origin=crossref&seq=1>

Jordaens, K., De Wolf, H., Vandecasteele, B., Blust, R., & Backeljau, T. (2006). Associations between shell strength, shell morphology and heavy metals in the land snail *Cepaea nemoralis* (Gastropoda, Helicidae), *Science of The Total Environment*, 363. 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.12.002>

Jungblut, S., Liebich, V., & Bode, M. (2018). *YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Cham: Springer.

<https://link-springer-com.ezproxy.ub.gu.se/book/10.1007/978-3-319-93284-2>

Karolinska institutet. (2021, 8 december). *Sökteknik*. Hämtad 2022-03-03, från:

<https://kib.ki.se/soka-vardera/soka-information/sokteknik>

Khirul, M. A., Kim, B.-G., Cho, D., Yoo, G., & Kwon, S.-H. (2019). Effect of oyster shell powder on nitrogen releases from contaminated marine sediment. *Environmental Engineering Research*. 25(2): 230-237. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.395>

Kim, H., Yeo, I., & Park, C. (2020). Study of Algal Organic Matter Removal Efficiency Using a Newly Developed Removal System. *Air, Soil and Water Research*, 13(1).

<https://doi.org/10.1177/1178622119898422>

Larsen, A. (2018). *Metod helt enkelt - en introduktion till samhällsvetenskapliga metoder*. Gleerups utbildning.

Laugen, A. T., Hollander, J., Obst, M. & Strand, Å. (2015). The Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) Invasion in Scandinavian Coastal Waters: Impact on Local Ecosystem Services. Canning-Clode, J. *Biological Invasions in Changing Ecosystems* (s. 230-245). De Gruyter Open Poland.

https://www.researchgate.net/profile/Ane-Laugen/publication/290061791_The_Pacific_Oyster_Crassostrea_gigas_invasion_in_Scandinavian_coastal_waters_impact_on_local_ecosystem_services/links/5694b85d08ae820ff0732c67/The-Pacific-Oyster-Crassostrea-gigas-invasion-in-Scandinavian-coastal-waters-impact-on-local-ecosystem-services.pdf

Livsmedelsverket. 2020. *Kontrollprogrammet för tvåskaliga blötdjur, Årsrapport 2014-2019*. Livsmedelsverkets rapportserie. Livsmedelsverket, Uppsala.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1502550/FULLTEXT01.pdf>

Manna Pro. (2022). *Oyster shell*.

<https://www.mannapro.com/poultry/supplements-care/oyster-shell>

Marriages. (u.å). *Poultry feed*. <https://www.marriages.co.uk/products-poultry.php>

Martins, M. C., Santos, E. B. H., & Marques, C. R. (2017). First study on oyster-shell-based phosphorous removal in saltwater — A proxy to effluent bioremediation of marine aquaculture. *Science of The Total Environment*. 574. 605-615.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.103>

Mia Larsson Jewelry. (u.å). *Products*. <https://mialarsson.com/products>

Monita, O., Ismi Siska, R., Gunawan, W., & Edy, S. (2020). The Effects of Using Ground Cockle Seashells as an Additive for Mortar in Peat Environment. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(3). 259-270. <https://doi.org/10.22146/jcef.55651>

Murphy, J., Schneider, C., Mailänder, L., Lepillet, Q, Hawboldt, K., & Kerton, F. (2019). Wealth from waste: blue mussels (*Mytilus edulis*) offer up a sustainable source of natural and synthetic nacre. *Green Chem*, 21, 3920-3929. [10.1039/C9GC01244C](https://doi.org/10.1039/C9GC01244C)

Mussel feed. (2021). *Vår produkt*. <https://mussel feed.com/sv/vara-produkter/>

Nationalencyklopedin. (u.å). Kalcinering. I *Nationalencyklopedin*. Hämtad 2022, 9 maj från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/kalcinering>

Nature's blend. (2022). *Calcium Oyster Shell 500 mg, 200 Tablets*. <https://www.naturesblendshop.com/product/calcium-oyster-shell-500-mg/>

NOBANIS. (2011). *NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – Crassostrea gigas*. Hämtad 2022-04-10, från: <https://www.nobanis.org/globalassets/speciesinfo/c/crassostrea-gigas/crassostrea-gigas.pdf>

Nordiska ministerrådet. (2019). *Policy brief: Stillahavsstron – en ny nordisk livsmedelsresurs och underlag för turism*. https://norden.diva-portal.org/smash/record.jsf?aq2=%5B%5B%5D%5D&c=1&af=%5B%5D&searchType=LIST_LATEST&sortOrder2=title_sort_asc&query=&language=sv&pid=diva2%3A1297481&aq=%5B%5B%5D%5D&sf=all&aqe=%5B%5D&sortOrder=author_sort_asc&onlyFullText=false&noOfRows=50&dswid=5631

Olgun, O., Yildiz, A., & Cufadar, Y. (2015). The effects of eggshell and oyster shell supplemental as calcium sources on performance, eggshell quality and mineral excretion in laying hens. *Indian Journal of Animal Research*, 49. 205-209. https://www.researchgate.net/publication/304168299_The_effects_of_eggshell_and_oyster_shell_supplemental_as_calcium_sources_on_performance_eggshell_quality_and_mineral_excretion_in_laying_hens

Olrog, L., & Christensson, E. (2003). *Musselodling och jordbruk i samverkan*. Hushållningssällskapet. <https://miljomusslor.loven.gu.se/pdf/HushallningssRapp.pdf>

Persson, M. (2004). *Musslor för miljön – musselodlingens positiva och negativa miljöeffekter*. Responstryck Armbåga Grafiska AB

Pigeon and poodle. (u.å). *Oyster*. <https://www.pigeonandpoodle.com/catalogsearch/result/?q=oyster>

Richardson, A. E., & Fuller, T. (2013). Sea shells used as partial aggregate replacement in concrete. *Structural Survey*, 31. 347-354. <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1108/SS-12-2012-0041>

Richardson, C. A., Chenery, S. R. N., & Cook, J. M. (2001). Assessing the history of trace metal (Cu, Zn, Pb) contamination in the North Sea through laser ablation ICP-MS of horse mussel *Modiolus modiolus* shells. *MEPS*. 211. 157-167. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v211/p157-167/>

Roy, H., Bacher, S., Essl, F., Van der Velde, G., Zenetos, A., & Rabitsch, W. (2019). Developing a list of invasive alien species likely to threaten biodiversity and ecosystems in the European Union. *Global Change Biology*, 25(3), 1032-1048.

<https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.ub.gu.se/doi/full/10.1111/gcb.14527>

Ruesink, J. L. (2007). Biotic resistance and facilitation of a non-native oyster on rocky shores. *MEPS* 331. 1-9. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v331/p1-9/>

Seesanong, S., Seangarun, C., Boonchom, B., Laohavisuti, N., Chaiseeda, K., & Boonmee, W. (2021). Composition and Properties of Triple Superphosphate Obtained from Oyster Shells and Various Concentrations of Phosphoric Acid. *ACS omega*, 6(34).

<https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02660>

Silva, H., Mesquita-Guimarães, J., Henriques, B., Silva, F. S., & Fredel, M. C. (2019). The Potential Use of Oyster Shell Waste in New Value-Added By-Product. *Resources*, 8(1).

13-30. <https://doi.org/10.3390/resources8010013>

Solgar. (2022). *Calcium “600” tablets (From oyster shell with vitamin D3).*

<https://www.solgar.com/products/calcium-600-tablets-from-oyster-shell-with-vitamin-d3/>

Soörüz. (2022). *Biöprene Fullsuit 3/2 GREEN LINE Chest-Zip.*

https://surfwear.sooruz.com/webshop/en/men/1539-7954-bioprene-fullsuit-3-2-green-line-chest-zip-1015783016642.html#/11-color-black/26-size-xs/36-thickness-3_2mm

Stewart, B. D., Jenkins, S. R., Boig, C., Sinfield, C., Kennington, K., Brand, A. R., Lart, W., & Kröger, R. (2021). Metal pollution as a potential threat to shell strength and survival in marine bivalves, *Science of The Total Environment*, 755.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143019>

Strand, Å. & Lindegarth, S. (2014). *Japanska Ostron I Svenska Vatten - Främmande Art Som är Här För Att Stanna.* Vattenbrukscentrum Väst.

https://www.researchgate.net/publication/265345919_Japanska_ostron_i_svenska_vatten_Frammande_art_som_ar_har_for_att_stanna

Svenskt vattenbruk. (2021). *Blåmussla (Mytilus edulis).* Hämtad 2022-01-25, från:

<http://www.svensktvattenbruk.se/46/att-driva-vattenbruk/exempel-pa-arter-inom-vattenbruk/blamusslor.html>

Taufiq-Yap, Y. H., Lee, H. V., & Lau, P. L. (2012). Transesterification of Jatropha Curcas Oil to Biodiesel by Using Short Necked Clam (*Orbicularia Orbiculata*) Shell Derived Catalyst. *Energy Exploration & Exploitation*, 30(5). 853–866.

<https://doi.org/10.1260/0144-5987.30.5.853>

Tessuti fabrics. (u.å). *Mussel shell button.*

<https://www.tessuti-shop.com/collections/buttons/products/mussel-shell-button>

Timber tones. (2022). *Shell Tones Mussel Shell I Guitar Pick.*

<https://www.timber-tones.com/shell-tones-mussel-shell-1-guitar-pick-115-p.asp>

Van der Endt-Louwerse. (u.å). *Shell sand*.

<https://www.vde-shells.com/producten/bodembedekkers/bird-sand/?lang=en>

Wiltec. (2022). *Oyster shells in 5kg bag pH-stabilization filtermedium*.

<https://www.wiltec.de/en/Oyster-shells-in-5kg-bag-pH-stabilisation-filtermedium/7050308>

Yao, Z., Xia, M., Li, H., Chen, T., Ye, Y., & Zheng, H. (2014) Bivalve Shell: Not an Abundant Useless Waste but a Functional and Versatile Biomaterial, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(22). 2502-2530. [10.1080/10643389.2013.829763](https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829763)

Yuan, M., Zhenbin, G., Fitzer, S., Upadhyay, A., Chan, V., Li Chaoyi., & Thiyagarajan, V. (2018). Ocean acidification reduces hardness and stiffness of the Portuguese oyster shell with impaired microstructure; a hierarchical analysis. *Biogeosciences*, 15(22), 6833-6846.

<https://bg.copernicus.org/articles/15/6833/2018/>

Bilagor

Bilaga 1 - Kvalitetsgranskningsmall

Artikelreferens	Artikel 1	Artikel 2	Artikel 3	Artikel 4	Artikel 5	Artikel 6	Artikel 7	Artikel 8	Artikel 9	Artikel 10
Är frågeställningen tydligt formulerad och relevant för arbetet?	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är kontexten tydligt beskriven?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är datainsamlingen tydligt beskriven?	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja
Är analysen av datan logisk och tydligt beskriven?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är resultatet logiskt och begripligt?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Medel	Ja	Ja	Ja
Finns det något som är oklart eller saknas i artikeln?	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej

Artikelreferens	Artikel 11	Artikel 12	Artikel 13	Artikel 14	Artikel 15	Artikel 16	Artikel 17	Artikel 18	Artikel 19	Artikel 20
Är frågeställningen tydligt formulerad och relevant för arbetet?	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är kontexten tydligt beskriven?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är datainsamlingen tydligt beskriven?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Är analysen av datan logisk och tydligt beskriven?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Är resultatet logiskt och begripligt?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Finns det något som är oklart eller saknas i artikeln?	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej

Bilaga 2 - Artikelöversikt

Sökning	Artikelnummer	Författare	Titel	Publicering, Volym, Sidor, År	Geografiskt område
1	1	Andersson, Sara	Musslor som material–En studie om att använda musslor för materialutveckling genom en material driven designprocess för en cirkulär ekonomi	Malmö universitet/Kultur och samhälle, 2020	Sverige
1	2	Ahrenbeck, Malin; Benskiöld, Alice; Gannholm, Andreas; Nilsson, Elin; Storm, Carl-Fredrik ; Strand, Rebecca	Blåmusselskal–ett hållbart alternativ till den kontroversiella cementen-En jämförande studie av substitution med kalcinerat blåmusselskal vid tillverkning av hydrauliskt bindemedel	Chalmers tekniska högskola / Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, 2021	Sverige
1	3	Olrog, Lars; Christensson, Erling	Musselodling och jordbruk i samverkan	Rapport från Husshållningssällskapet till en del finansierad med EU-medel via KULM programmet del,3, 2003	Sverige
1	4	Andréasson, Frida; Björklund Larsen, Frederikke; Iwarsson, Ellen; Melander Lövström, Linn; Qvist, August; Thorén,	Användning av skal från blåmusslan Mytilus edulis som substitut till cement -En studie med fokus på den kemiska kompositionen och dess inverkan på tryckhållfastheten	Chalmers tekniska högskola / Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, 2021	Sverige

		Jonatan			
2	5	H Silva, Thamyres; Mesquita-Guimarães, Joana; Henriques, Bruno; Silva, Filipe S; Fredel, Márcio C	The potential use of oyster shell waste in new value-added by-product	Resources, 8,1,13, 2019, Multidisciplinary Digital Publishing Institute	Brasilien
2	6	Martins, Marta C; Santos, Eduarda BH; Marques, Catarina R	First study on oyster-shell-based phosphorous removal in saltwater—A proxy to effluent bioremediation of marine aquaculture	Science of the Total Environment, 574, 605-615, 2017, Elsevier	Portugal
2	7	Alabaraoye, Ernestine; Achilonu, Mathew; Hester, Robert	Biopolymer (Chitin) from various marine seashell wastes: isolation and characterization	Journal of Polymers and the Environment, 26,6, 2207-2218, 2018, Springer	-
2	8	Khurul, Md Akhte; Kim, Beom-Geun; Cho, Daechul; Yoo, Gilsun; Kwon, Sung-Hyun	Effect of oyster shell powder on nitrogen releases from contaminated marine sediment	Environmental Engineering Research, 25,2, 230-237, 2020, Korean Society of Environmental Engineers	Korea
2	9	Seesanong, Somkiat; Seangarun, Chaowared; Boonchom, Banjong; Laohavisuti, Nongnuch; Chaiseeda, Kittichai; Boonmee, Wimonmat	Composition and Properties of Triple Superphosphate Obtained from Oyster Shells and Various Concentrations of Phosphoric Acid	ACS omega, 6,34, 22065-22072, 2021, ACS Publications	Thailand
2	10	Craggs, R; Cooke, J; Mathieson, T; Park, J	Potential of mussel shell as a biosorbent for stormwater treatment	Auckland Regional Council, 2010	Nya Zeeland
2	11	Taufiq-Yap, Yun Hin; Lee, Hwei Voon; Lau, Poh Lin	Transesterification of jatropha curcas oil to biodiesel by using short necked clam (orbicularia orbiculata) shell derived catalyst	Energy Exploration & Exploitation, 30,5, 853-866, 2012, "SAGE Publications Sage UK: London, England	Malaysia

2	12	Olivia, Monita; Rahmayani, Ismi Siska; Wibisono, Gunawan; Saputra, Edy	The Effects of Using Ground Cockle Seashells as an Additive for Mortar in Peat Environment	Journal of the Civil Engineering Forum, 6,3, 259-270, 2020	Indonesien
2	13	Hou, Yakun; Shavandi, Amin; Carne, Alan; Bekhit, Adnan A; Ng, Tzi Bun; Cheung, Randy Chi Fai; Bekhit, Alaa El-din A	Marine shells: Potential opportunities for extraction of functional and health-promoting materials	Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 46,11-12, 1047-1116, 2016, Taylor & Francis	-
2	14	Richardson, Alan Elliott; Fuller, Thomas	Sea shells used as partial aggregate replacement in concrete	Structural Survey, 2013, Emerald Group Publishing Limited	Storbritannien
2	15	Kim, Hwan; Yeo, Inseol; Park, Chan-Gyu	Study of algal organic matter removal efficiency using a newly developed removal system	"Air, Soil and Water Research", 13, 2020, "SAGE Publications Sage UK: London, England"	Korea
Manuell sökning	16	Osman, Olgun; Alp Önder, Yildiz1; Yusuf, Cufadar	The effects of eggshell and oyster shell supplemental as calcium sources on performance, eggshell quality and mineral excretion in laying hens	Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Selcuk University, 42075, 2014	Turkiet
Manuell sökning	17	Michele Regina Rosa, Hamester; Palova Santos, Balzer; Daniela, Becker	Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene	Materials Research; 15(2): 204-208, 2012	Brasilien
Manuell sökning	18	Zhitong Yao, Meisheng Xia, Haiyan Li, Tao Chen, Ying Ye & Hao Zheng	Bivalve Shell: Not an Abundant Useless Waste but a Functional and Versatile Biomaterial	Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 44:22, 2502-2530, 2014	Kina
Manuell sökning	19	Takuo, Fujita; Masaaki, Fukase;	Increase of bone mineral density by calcium supplement with oyster shell	Bone and Mineral Volume 11, Issue 1, October 1990, Pages 85-91	Japan

		Haruko, Miyamoto; Toshio, Matsumoto; Toru, Ohue	electrolysate		
Manuell sökning	20	T Fujita, M Fukase, M Nakada, M Koishi	Intestinal absorption of oyster shell electrolysate	Bone and mineral, 4(4), 321–327.	Japan

Bilaga 3 - Intervjumall

Frågor för redan existerande projekt:

Berätta om ert ostron/blåmussel projekt

Varför valde ni att jobba med ostron/blåmusslor?

Var får ni skaln ifrån? Skördar ni dom själva eller använder ni er av en leverantör?

Hur behandlar ni skaln? Krossar ni dom eller behåller ni dom hela? Bränner ni dom?

Vilka olika produkter av ostronskal/blåmusselskal har ni skapat hittills?

Ser ni potential för att skapa fler produkter i framtiden? Isåfall vad?

Skulle man kunna använda skal från blåmusslor/ostron (arten projektet inte fokuserar på) i samma typ av produkt? Varför/varför inte?

Vad ser ni för möjligheter och hinder för att expandera er verksamhet?

Har ni tillgång till de skal ni behöver idag, ser ni att behovet av skal kommer öka framöver? Till vilka volymer?

Frågor för intresseundersökning om ostron/blåmusselskal som produkt:

Berätta kort om eran verksamhet, vad tillverkar ni och vad används produkten till?

Har ni hört talas om att använda ostronskal/blåmusselskal i denna typ av produkt?

Tror ni att (produkten) kan fungera i praktiken? Varför/varför inte?

Ser ni några problem med att använda ostronskal/blåmusselskal i denna typ av produkt?

Ser ni några fördelar med att använda ostronskal/blåmusselskal i denna typ av produkt?

Vilka specifika användningsområden kan ni se för produkten? Finns det några begränsningar jämfört med nuvarande alternativ?

Ur ett miljöperspektiv, tror ni att (produkten) kommer vara bättre eller sämre jämfört med nuvarande alternativ?

Ur ett kostnadsperspektiv, tror ni att (produkten) kommer vara billigare eller dyrare jämfört med nuvarande alternativ? Vad betalar ni för den nuvarande kalkprodukten?

Bilaga 4 - Sammanställning från kartläggning av produkter

Företag	Produkt	Pris	Geografisk område
Mia Larsson Jewelry	Smycken gjorda på ostronskal	1481-3589 sek	Sverige
Musselfeed	Krossade skal från blåmusslor	-	Sverige
Dammbutiken	Hela skal ostron (5 kg)	465 sek (93 kr/kg)	Sverige
van der endt Louwerse	Kalktillskott värpande höns (ostronskal, 5 kg)	-	Nederländerna
Wiltec	Ostronskal för stabilisering av pH och karbonathårdhet (5 kg)	305 sek (61 kr/kg)	Tyskland
Marriages	Höns ostronskal (1,5 kg)	-	UK
Manna pro	Höns ostronskal (2,27 kg)	60 sek (26,4 kr/kg)	USA
Amsquare tradelinks	Oyster Shell Powder Calcium Carbonate	3,3 kr/kg	Indien
Natures blend	Calcium Oyster Shell 500 mg, 200 Tablets	112 sek (0,56 kr/tablett)	USA
Etsy	Ostronskal konst	70 - 1485 sek	USA
Pigeon and poodle	Ostronskal inredningsdetaljer	-	USA
Buy Way of Charleston	Ostronskal tallrik	383 - 862 sek	USA
Solgar	Calcium "600" tablets (From oyster shell with vitamin D3), 120 tablets	137 sek (1,14 kr/tablett)	Sverige
Etsy	Blåmusselskal konst	40 - 1295 sek	USA
Soöruz	Biöprene vådräkt	2 992 sek	Frankrike
Timber tones	Gitarr plektrum	115 sek	UK
Danshells	Krossade skal från musslor (4 kg)	49 sek (12,25 kr/kg)	Danmark
Tessuti shop	Knappar gjorda från musselskal	5,31 - 13,66 sek/styck	Australien

Bilaga 5 - Svar från intervjuer

Studio Demos

Studio Demos är en inredningsarkitektfirma lokaliserad i Stockholm. Intervjun genomfördes den 23/02 2022 med Elisa Hedin och Frida McDavitt Wallin med syfte att höra mer om ett pågående projekt centrerat till skal från stillahavsstron för olika applikationer inom inredning och design. Projektet startade från ett intresse för att undersöka biomaterial som kan användas inom design och arkitektur. Projektet är just nu i utvecklingsfas och man har hittills arbetat med att framställa materialprover samt ett försök att skapa en lampskärm från skalen. Förhoppningarna inför framtiden är att kunna skapa någon typ av möbel eller att deras process för behandling av skalen ska kunna appliceras till något storskaligt som exempelvis någon typ av miljövänlig cement. I en konstnärlig designprocess testar man sig fram och laborerar med materialet för att hitta det bästa användningsområdet. Eftersom projektet fortfarande är i utvecklingsfas skulle produkten lika gärna kunna bli en slamfärg eller något helt annat än förväntat.

Skalen som används har plockats själva eller samlas in från restauranger och dessa källor fyller i dagens läge behovet. Behandlingen håller på att utvecklas, framförallt vill man undersöka bränningen av skal. Tillgången till en keramikugn för bränningen anses vara den största begränsningen för fortskridningen av projektet eftersom ekonomin begränsar inköp av dyr utrustning. För just detta projekt är inte skal från blåmusslor lika intressant eftersom ostronskalen för tillfället fyller behovet. Beroende på vilka typer av produkter som skapas skulle skalen från blåmusslor kunna vara intressant längre fram om musselskal skulle kunna användas utbytbar och fylla ut massa i exempelvis någon typ av cement. Utbytet kräver dock att skalen i sådana fall ska vara så pass kemiskt lika i sin uppbyggnad att utbytet inte påverkar materialets struktur.

Mia Larsson Jewelry

Intervjun genomfördes den 28/02 2022 med Mia Larsson. Mia är en smykesdesigner från Stockholm som jobbar mycket med att skapa smycken med utgångspunkt i hållbara material. Idén att använda sig av skal från olika bivalver kom från skal som matrest vilket inspirerade skrivandet av en c-uppsats kring hållbarhet och material. Ostron har många intressanta aspekter, dels att dom hjälper till att rena vatten som levande organismer och även att dom kan föra samman folk över en måltid. Fördelen med materialet är att det är komposterbart och därmed intressant att undersöka multidisciplinärt (både vetenskapligt och ur ett designperspektiv). Att använda skal till att skapa smycken är därmed en upcycling vilket innebär att omvandla restprodukter till nya material eller produkter med ett högre konstnärligt eller kommersiellt värde. Smycken gjorda av snäckskal har tillverkats under väldigt lång tid. Historiskt sett så ville man skapa smycken från naturmaterial för att få kraft från naturen. Skalen som används vid tillverkningen av smyckena hämtas idag från restauranger eller familj och vänner. Tillgängligheten av skal var för tillfället ingen begränsning för tillverkningen. Förutom att det är jobbigt att fråga kan man alltid åka till restauranger efter stängning och hämta ikea kassar fulla med skal.

Skalen som tillhandahålls tvättas så fort som möjligt med diskmedel för att undvika att dom ska börja lukta, sedan kan dom sågas ut i olika former. Ostronskal poleras med en mässingsborste för att bli blankare och skal från blåmusslor poleras i vatten. Blåmusselskalen

som är ganska spröda blir efter polering hårdade och får även mer glans vilket gör dem mer anpassade för applikationer som smycken. Naturliga skal anses bli finare än odlade för användning inom detta område eftersom dom är större och har finare form. Man har inte bara tillverkat smycken med hela skal utan vissa har skapats genom att blanda sandkompositer med krossade skal och bindemedel (man har hittills använt bioresin). Detta material kan sedan användas för att gjuta smycken i olika former. Man vill gärna fortsätta utveckla denna teknik och hitta ett mer miljövänligt bindemedel för kompositen.

Musselfeed

Musselfeed är ett företag som tillverkar olika typer av produkter från avfall från blåmusselindustrin. Bland annat skapar dom djurfoder och olika typer av livsmedel från pulver från musselköttet och som biprodukt får dom krossade musselskal som kan användas inom jordbruk eller som dekoration i trädgårdar. Intervjun genomfördes den 04-03-2022 med Jessica Vacklid. Företaget skapades från forskning om kustvattenkvalitet, baserat på musslor som miljöåtgärd. Musslor utför ekosystemtjänst eftersom dom tar hand om överskottsnäring i form av kväve och fosfor. Företagets grundare Odd Lindahl utvecklade en skonsam metod där skalen separerades från köttet för att sedan tillverka musselmjöl. Man räknar med att en tredjedel av skörden från musselodlingar i Sverige inte lämpas för livsmedelsförsäljning. Genom att ta vara på dessa sidoströmmar från blåmusselindustrin skapas på så vis ett cirkulärt kretslopp mellan hav och land. Musselfeed skapar främst musselmjöl från blåmusslornas kött och producerar skalkross som en sidoprodukt. Musselmjöl har många användningsområden som bland annat kosttillskott till hönor, inom matlagning och kan även ersätta fiskmjöl i en del foder, vilket bidrar till att minska överfisket av småfisk.

Produktionen separerar skal från kött genom en industriellt skalbar process. Hela musslan går sedan igenom en behandling som gör att den kan torkas. Under produktionen tillsätts inga enzymer eller andra ämnen vilket innebär att den slutgiltiga produkten endast är 100% blåmussla. Skalen från musslorna blir endast en restprodukt från produktionen av musselmjöl och musselpulver. Efter den genomgångna processen bildas skalkross som säljs som jordförbättringsmedel inom jordbruk eller som trädgårdsprodukt. Musselfeed har blivit kontaktade av flera parter som föreslagit andra typer av användningsområden för skalen. Bland annat som konstmaterial, som fyller i grunden vid bygge av hus och till implementering i kosmetiska produkter. Hittills har produkten endast sålts för applicering inom jordbruk vilket innebär att stora mängder musselskal säljs för relativt låga summor pengar. För framtida utveckling undersöks i dagsläget prissättning kring olika användningsområden för att göra biprodukten så lönsam som möjligt. Just nu finns inga begränsningar på mängden musslor som behövs för produktion. En uppskalningsplan finns utifrån den maximala musselproduktionen i Sverige idag, men för att ytterligare kunna expandera krävs nya odlingstillstånd och ökad produktionskapacitet vilket tar tid. Sverige har en delvis begränsad mängd musslor vilket påverkar priset.

Användningen av ostronskal för att skapa samma typer av produkter har man tidigare tackat nej till då deras huvudfokus är att etablera sin egen produktionslinje för blåmusslorna. Utifrån nuvarande metod och produktionslinje ser man inte att det skulle vara möjligt att använda exakt samma process utan att först göra vissa justeringar. Eftersom ostronskal är mycket hårdare kan de eventuellt skada maskinerna som endast är anpassade för att klara av de betydligt mycket tunnare och ömtåligare skalen från blåmusslor. Det finns dock anledning att tro att tekniken går att implementera på ostron i framtiden efter några ändringar. Möjligheter inför framtiden är många. Produkterna som skapas ligger rätt i tiden och svarar upp mot

internationella och nationella mål. Hinder för verksamheten är mer företagsekonomiska parametrar, exempelvis hur snabbt man når lönsamhet.

Trioworld

Ett av de ledande företagen inom tillverkningen av olika plastförpackningar är Trioworld. Intervjun genomfördes den 04/03 2022 med Lars Lundin med syfte att höra mer om tidigare projekt för användning av krossade ostronskal (granulat) som fyllnadsmaterial för plast vid tillverkning av plastpåsar. Ostronskal som material är likvärdigt med krita vilket är ett material som ofta används som fyllnadsmaterial i många olika typer av produkter. Målet inom det tidigare projektet var inblandning av 25% biologiskt förnyelsebart material (ostronskal) i plastpåsar i syfte att minska koldioxidutsläpp från tillverkningen i motsvarande grad. I dagens läge är inte projektet aktivt då man istället börjat använda återanvänt plastmaterial i detta syfte med bättre resultat kopplat till minskade koldioxidutsläpp. Skal från Asien samlades in och behandlades för att sedan skickas till Sverige. Leverantören av skalen har en godkänd code of conduct certifiering som genomfördes av H&M. Skalen levererades i form av granulat som sedan enkelt blandades in med plasten. En ersättning av 25% resulterade i en plastfilm av god kvalitet. Plastmaterialet användes sedan för att skapa plastpåsar till affärer som bland annat Lindex och H&M.

Man konstaterar att det däremot skulle kunna finnas en framtid för materialet inom tillverkning av livsmedelsförpackningar. I livsmedelsförpackningar är det inte tillåtet att använda återvunnet material då allt material måste vara spårbart. Det innebär att ostronskal skulle vara ett bättre alternativ för minskade koldioxidutsläpp inom just denna tillämpning. Eftersom produktionskedjan är färdigställd skulle det inte vara något problem att utveckla hanteringen processmässigt. Materialets återvinningspotential är däremot intressant för fortsatt utveckling. Användning av för mycket ostronskal har potential att påverka återvinningspotentialen vilket minskar miljövinsten med användning av materialet. Det är svårt att konstatera hur stora volymer av skal som skulle behövas om projektet skulle utvecklas för användning inom livsmedelsförpackningar.

Flexiclean

Flexiclean är ett företag som håller på med process- och dagvattenrening. Intervjun genomfördes den 10/03 2022 med Peder Eneroth med syfte att undersöka potentialen att använda skal inom detta område. Reningen av vattnet sker genom installation av kassetter i vilka man kan placera en filterdyna som kan anpassas beroende på vilka ämnen man vill avlägsna. Filtermaterialet kan alltid fortsätta att utvecklas och det är inom detta område som skalen har potential att appliceras. Man har tidigare hört talas om att skal från musslor är bra i detta syfte och ser inga hinder för att det inte skulle fungera att använda skal från ostron också. Beroende på reningsegenskaperna för skalen kan filtrena användas på olika sätt. Om skalen är bra på att ta upp ett specifikt ämne kan dom användas vid ett område där man har problem med reningen av just detta. Normalt används bark som är ett bra allround material som kan absorbera många typer av föroreningar vilket är fördelaktigt vid rening av dagvatten. Just nu är dom vanligaste filtermaterialen biokol, bark och stålslagg. Stålslagget är ett problem idag eftersom man inte vet vad man ska göra av det efter användning. Det är därför viktigt att undersöka återvinningsmöjligheterna även för skal efter användning i filter. Filteregenskaper som anses positiva är förmågan att ta upp lösta partiklar och att hitta en lösning för filtrering av per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS). För nuvarande filtermaterial är prisklassen låg, för tillgång till exempelvis slagg betalas endast frakten. En färdig filterdyna säljs paketerad till kund för runt 300 kronor styck.

Swerock

En av Sveriges största leverantörer av byggmaterial och tjänster inom anläggningsbranschen är företaget Swerock. Intervjun genomfördes den 23/02 2022 med Peter Martinsson och Oskar Linderoth. Syftet med intervjun var undersöka möjligheter och begränsningar för applikationer för skal inom ballast och cement som var ett stort fokus för forskningen från den systematiska litteraturgranskningen. Båda jobbar mycket med utvecklingen av material för mer miljövänliga och cirkulära alternativ. Man vill i dagsläget hitta alternativa material till ballast gjord på ljugfruliga råvaror där bergmaterial dominerar idag samt alternativ till vanlig cement. Just nu undersöker man ersättning av cement med slagg som är en restprodukt från stålindustrin vilket kan minska koldioxidutsläppen med 90% och även öka materialets prestanda. Man har tidigare hört talas om att använda ostronskal i betong i ett gammalt material som kallas "tabby concrete" som användes på den Amerikanska östkusten. Detta material skapas genom att bränna ostronskal för att få kalk som sedan blandas med sand, aska, vatten och bitar av ostronskal.

De bästa applikationerna för skalen tros vara som alternativ till kalkstensfiller i cement eller som ballastfiller i form av kalk. Det är svårt att svara på om appliceringen skulle fungera i praktiken eftersom materialet inte bara ska fungera tekniskt utan allt ska även gå ihop mekaniskt och logistiskt för produktionen. Ytterligare begränsningar för denna applicering är kvantiteten av skal, då denna industri kräver extremt stora mängder kalk. Om mängderna skal är för små skulle utbytet inte ge en tillräckligt stor förbättring av koldioxidutsläpp för att vara värt jobbet. Att priset är lågt för skalen ansågs vara en förutsättning för att utbytet skulle fungera. Eftersom man jobbar mycket med att skapa klimatförbättrad betong med hjälp av slagg som är ett billigt material skulle inte ett utbyte mot en dyrare produkt vara intressant. En utmaning för produktionen är att salt från vattnet och organiskt material som växer på skalen följer med när det används i betongen. För att undvika det skulle skalen behöva rengöras ordentligt innan krossning. För skal som alternativ till kalkstensfiller i cement kan inte inkorporeringen ske hos Swerock. Swerock köper ett färdigblandat kalkstens pulver från företaget Nordkalk (Limus 40). För vidare diskussion om inkorporering inom detta område, se intervjun med Nordkalk.

Nordkalk

Nordkalk är östersjöområdets största producent av kalkprodukter. I deras egna kalkbrott bryter som ca 10-30 miljoner ton kalksten om året som kan användas antingen som kalkstensprodukt, karbonat produkt eller brända/släckta produkter. Intervjun genomfördes den 11/03 2022 med Mikael Wendel med syfte att undersöka möjliga applikationer för skal inom denna industri. I dagens läge finns det gott om kalksten, däremot blir det mer och mer begränsat vilken kalksten som är tillgänglig för kommersiella ändamål. Orsaken till att kalkindustrin tittar mer och mer på att hitta cirkulära råvaror är för att hitta komplement för att minska trycket på dom jungfruliga råvarorna. Speciellt så undersöker man alternativa råvaror till produkter som kan tillåta lite annorlunda kemisk komposition. Användningsområden för ostronskalen är begränsade av skalens kemiska sammansättning. Det enklaste alternativet vore att använda skalen till produkter så som jordbrukskalk och filler. Användningen skulle dock kunna begränsas av farliga mängder tungmetaller i skalen, klorider som kan vara besvärligt i värmebehandlingsprocesser, samt alkalier och mangan. Behandlingen av skalen skulle innefatta torkning och malning för att materialet ska kunna gå in som komplement till karbonat baserade produkter. Kornstorleken efter malning måste vara liten för att få så stor reaktiv yta som möjligt. Användning som kalkbaserad ballast filler är osäkert eftersom ballast har hållfasthetskrav vid användning på vägar eller järnvägar. Skal kan påverka hållfastheten och är därmed inte det enklaste applikationen. Att blanda kalk från

skal med vanligt karbonat till kalkstensmjöl för filler ändamål i exempelvis cement anses däremot vara ett av dom bästa sätten att dra nytta av skalen.

Om den kemiska sammansättningen tillåter så anses inte mängden skal vara begränsande i detta avseende. Man kan ta in ostronskal som restprodukt i små volymer och sedan blanda det med andra kalkprodukter, exempelvis som spetsprodukt för att höja prestandan genom att höja kalciumhalten eller för utfyllnad. Små volymer kan hanteras i Nordkalks system, men det kommer försvinna in i mängden. De har tidigare hört talas om att musselskal har använts som komplement i ekologiska kalkprodukter. Musselskal har exempelvis finkrossats (0-3 mm) och blandats med andra kalkråvaror för t.ex trädgårdsbruk och ekologiskt jordbruk. Däremot har de inte hört talas om användning av ostronskal i detta syfte tidigare. Fördelen med att inkorporera ostronskal i kalkprodukter är att minska miljöpåverkan och bidra till cirkulär hantering av en resurs. Nordkalk är intresserade av att finnas med i framtida projekt där de kan visa att kalkbranschen inte endast är en miljöförstörare. Ur ett kostnadsperspektiv är priset på kalkprodukter ganska lågt, kalkstensfiller eller enkel krossad jordbrukskalk kostar mellan 150-300 kronor per ton.
