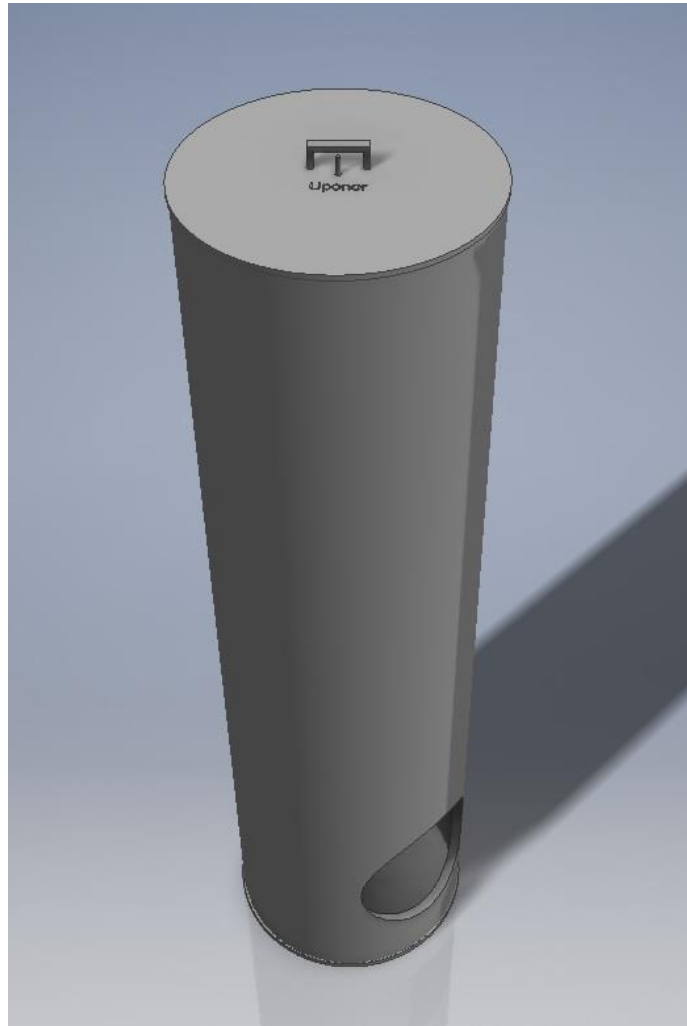




CHALMERS



Utveckling av nivåregleringsbrunn

Development of a water level control well

Examensarbete inom maskiningenjörsprogrammet 180 hp.

Bojan Stankic

Hisham Saif

Institutionen för produkt- och produktionsutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

FÖRORD

Detta examensarbete utfördes under vårterminen 2015 inom maskiningenjörsprogrammet på Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet utgör 15 hp.

Vi vill tacka Uponor Infrastruktur och våra handledare Per-Anders Solar och Jan-Olof Olofsson för möjligheten att utföra examensarbetet i samarbete med dem. Vi vill även tacka för handledningen och all övrig hjälp vi har fått från deras sida.

Tack till Kjell Melkersson, tekniklektor på produkt- och produktionsutveckling och även vår handledare samt examinator i skolan.

Slutligen vill vi tacka samtliga personer som vi har varit i kontakt med, bland annat Naturvårdsingenjörerna som har hjälpt oss med kundkrav och övrig information.

SAMMANFATTNING

Den här rapporten beskriver ett produktutvecklingsprojekt som resulterade i en framtagen nivåregleringsbrunn som Uponor Infrastruktur AB vill erbjuda sina kunder i framtiden. En nivåregleringsbrunn används för att reglera vattennivå hos dammar och våtmarker.

Uponor Infrastruktur AB tillverkar idag två olika typer av nivåregleringsbrunnar i olika storlekar. Företaget tillverkar en stor mängd varianter vilket är ett problem eftersom det ökar produktionskostnader och lagerhållningskostnader. Utöver detta ansågs även att nivåregleringsbrunnarna har en föråldrad konstruktion och att det var dags att utveckla en ny nivåregleringsbrunn.

Syftet med detta examensarbete var att ta fram en ny standardiserad nivåregleringsbrunn som minskar antalet olika varianter, samt erbjuder en smidigare och enklare justering av vattennivån. Dessutom skall den nya produkten vara mer prisvärd för kunden än de nivåregleringsbrunnar som Uponor erbjuder idag.

Produktutvecklingen av nivåregleringsbrunnen skedde inom ramen för ett antal avgränsningar. Några viktiga avgränsningar under utvecklingen var att den framtagna nivåregleringsbrunnen skulle till huvuddelen tillverkas i material som Uponor själva erbjuder, samt att brunnskroppen skulle vara cirkulär.

Den framtagna brunnen har en rörlig polyetenskiva som kan justeras upp alternativt ner beroende på om användaren vill höja eller sänka vattennivån. Dessutom har brunnen ett användbart brunnslock med ett handtag och möjlighet för låsning. För att både kunna låsa fast brunnslocket och den rörliga skivan så används en fästansordning. Brunnen är försedd med en tömningslucka som används för snabbtömning. Tömningsluckan manövreras via ett styrdon från toppen av brunnen. Brunnskroppen har dimensionerats för att klara av de största möjliga anslutningsrören och genom att använda denna dimension för alla anslutningsrör fås en standardiserad brunnskropp som minskar antalet varianter.

Arbetet inleddes med fältbesök, marknadsundersökningar och framtagning av kravspecifikation. Detta förarbete var viktigt för konceptgenereringen. De framtagna koncepten utvärderades och ett vinnande koncept realiserades i en detaljkonstruktion med ritningar och CAD-modeller. I de fall där en komplett detaljkonstruktion på vissa delsystem inte kunde utföras, så har det getts förslag på principlösningar för vidareutveckling. Det kvarstår dock en del utvecklingsarbete, samt prototyp tester innan Uponor kan erbjuda den nya nivåregleringsbrunnen i sitt sortiment.

SUMMARY

This thesis describes a product development project which resulted in a new water level control well. The product development led to a winning solution that Uponor Infrastructure want to offer their customers in the future. A water level control well is used to maintain constant water levels in dams and wetland.

Uponor Infrastructure offer two different types of water level control wells that come in many different sizes. Upon contact with Uponor Infrastructure, this was seen as an issue because the huge amount of well variants increased both production and warehousing costs. In addition to this, the wells that are on sale today are old and Uponor Infrastructure realized that it was time for a product development of the wells.

The purpose with this thesis is to develop a new standardized water level control well that minimize the amount of different variants, and offer an easier water level adjustment. At the same time the well should also be affordable for the customer.

During the product development, there were some boundaries, for example the biggest part of the wells material had to be made in materials that are offered by Uponor Infrastructure and also that the wells shape had to be circular.

The new well has a moveable polyethylene board that can adjust the water level. The well also has a user friendly well lid with a handle and locking possibility. To be able to both lock the well lid and the board a locking device is used. The well is also equipped with a draining flap which gives the user a possibility to drain dams quickly. The well body has been dimensioned to cope with the largest connection pipes and by using this well body dimension for smaller connection pipes the amount of well variants will be reduced.

The development started with field visits, market researches and the formulation of product requirements. This preparatory work was important for the concept generation. The produced concepts were evaluated and a winning concept was constructed in detail with drawings and CAD-models. In some cases where the detail construction was not completed, recommendations were given for further development. There remains some development work and tests before Uponor can offer the new water level control well in their selection.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Precisering av frågeställning.....	1
2. TEORETISK REFERENSRAM.....	2
2.1 Brunnar.....	2
2.2 Utvärdering av koncept.....	4
2.2.1 Elimineringssmatris.....	4
2.2.2 Viktning av önskemål.....	4
2.2.3 Pughmatris.....	5
2.3 FEM-modellering och grundläggande hållfasthetslära.....	6
2.3.1 FEM-modellering.....	6
2.3.2 Grundläggande hållfasthetslära.....	6
2.4 Vattentryck och friktionskrafter.....	8
2.4.1 Vattentryck.....	8
2.4.2 Maximala friktionskraften vid vila.....	8
2.4.3 Beräkning av kraftresultant på en horisontell vägg i vatten.....	8
3. METOD.....	9
3.1 Fältbesök.....	9
3.2 Undersökning av dagens utbud.....	9
3.3 Kravspecifikation och konceptgenerering.....	9
3.4 Utvärdering av koncept.....	10
3.5 Detaljkonstruktion, CAD och ritningar.....	11
4. FRAMTAGEN NIVÅREGLERINGSBRUNN.....	12
4.1 Hela systemet samt benämningar på delsystem och beskrivning av funktion.....	12
4.2 Tömningslucka på bottenskivan.....	14
4.3 Delsystem – Brunnskropp inklusive bottenplatta.....	14
4.3.1 Brunnskroppens diameter.....	15
4.3.2 Brunnskroppens vägg och bottentjocklek.....	15

4.3.3 Brunnskroppens höjd.....	15
4.4 Delsystem - Fästanordning.....	16
4.4.1 FEM-modellering på fästanordning.....	16
4.5 Delsystem - Brunnslock	17
4.6 Delsystem - Nivåjusteringsvägg.....	18
4.6.1 Principlösningar för att klara lyftning av rörliga skivan.....	19
5. REKOMMENDATIONER OCH DISKUSSION.....	20
5.1 Rekommendationer för fortsatt arbete.....	20
5.1.1 Test med fullskalig prototyp.....	20
5.1.2 Vidareutveckling av principlösningar för nivåjustering	20
5.1.3 Vidareutveckling av tömningsluckan	21
5.1.4 FEM-modellering av bottenskiva	21
5.1.5 Beräkning av produktionskostnader	22
5.2 Erfarenheter	22
6. SLUTSATSER.....	24
7. REFERENSER	25
Bilaga A – Fältbesök.....	26
Bilaga B – Dagens utbud	34
Bilaga C – Konceptgenerering.....	37
Bilaga D – Utvärdering koncept	47
Bilaga E – Ritning på brunnskropp.....	50
Bilaga F – Ritning på bottenplatta	51
Bilaga G – FEM-modellering av bottenplatta.....	52
Bilaga H – Ritning på fästanordning	56
Bilaga I – FEM-modellering av fästanordning	57
Bilaga J – Ritning på brunnslock	61
Bilaga K – Ritning på bottenskiva	62
Bilaga L – Ritning på rörlig skiva.....	63
Bilaga M – Bestämning av friktionskraft på rörliga skivan.....	64
Bilaga N – Principlösning 1	67
Bilaga O – Principlösning 2.....	68

Bilaga P – Principlösning 3.....	69
Bilaga Q – Principlösning 4.....	70

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Uponor Infrastruktur AB är en ledande tillverkare av VVS och inomhusklimatsystem för bostäder och kommersiella fastigheter. Företaget har även en framträdande roll som leverantör av vatten- och avloppssystem i Nordeuropa. Uponor har ett brett standardsortiment av samtliga produkter men de utformar även skräddarsydda produkter efter kunders förfrågningar. År 2013 sammanslogs KWH pipe och Uponor Infrastruktur AB. Tidigare var KWH pipe en konkurrent med likartade produkter.

En nivåregleringsbrunn, även vanligtvis kallad ”munk” används vid reglering av vattennivån hos t.ex. dammar eller våtmarker. Dessutom används nivåregleringsbrunnar för att skapa bevattningsreservoarer för jordbruk. Det finns många olika lösningar på nivåregleringsbrunnar och dessutom kommer de i många olika storlekar. Idag erbjuder Uponor flera olika typer av nivåregleringsbrunnar. I Uponors sortiment finns det flera standardbrunnar efter sammanslagningen med KWH pipe och detta anses vara ett problem eftersom Uponor vill få ner antalet varianter och således minska produktionskostnader och kostnaden för lagerhållna artiklar.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att ta fram en ny standardiserad nivåregleringsbrunn som minskar antalet olika varianter, samt erbjuder en smidigare och enklare justering av vattennivån. Dessutom skall den nya produkten vara mer prisvärd för kunden än de nivåregleringsbrunnar som Uponor erbjuder idag.

1.3 Avgränsningar

- Materialet som skall användas ska till huvuddelen vara det Uponor själva erbjuder.
- Brunnskroppen skall vara cirkulär.
- Produktionskostnader kommer inte att beräknas, utan detta överlämnas till Uponor.
- Detaljkonstruktionen kommer att enbart göras i Inventor.

1.4 Precisering av frågeställning

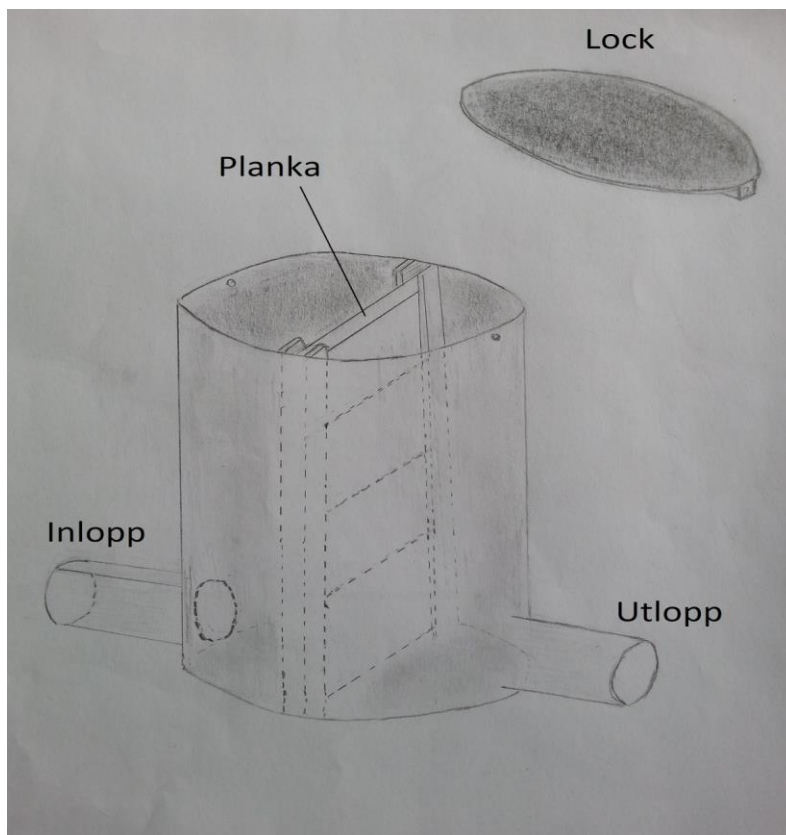
- Kan nivåjustering av vattnet med den nya nivåregleringsbrunnen bli enklare, samt kräva mindre kraft och tid utan komplicerade verktyg?
- Kan den framtagna nivåregleringsbrunnen sänka antalet varianter och således minska produktionskostnader och kostnader för lagerhållning?
- Kommer det nya brunnslocket vara låsbart samt enkelt att öppna och stänga?

2. TEORETISK REFERENSRAM

2.1 Brunnar

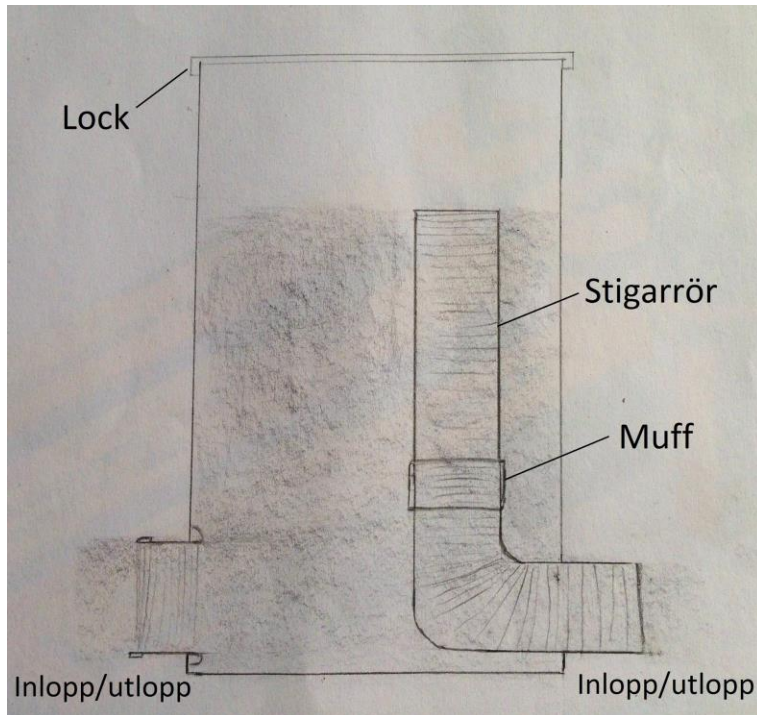
En nivåregleringsbrunn består alltid av ett in- och ett utloppsrör samt ett system inne i brunnen som ser till att hålla en jämn vattennivå i t.ex. en damm. Användaren kan även justera vattennivån hos de flesta nivåregleringsbrunnar.

Nivåregleringsbrunnar kan delas in i två principkonstruktioner vilka är illustrerade i figur 2.1 respektive figur 2.2. Den ena varianten består av en vägg som reglerar nivån och den andra varianten reglerar nivån med ett rör.



Figur 2.1. Nivåregleringsbrunn med vägg (munk).

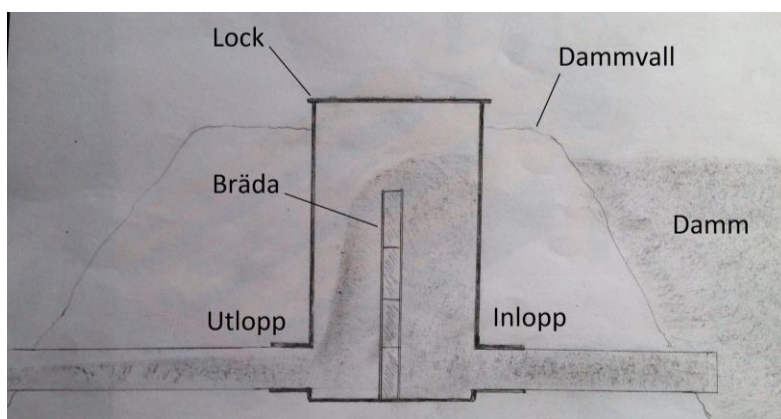
I figur 2.1 visas en skiss över en traditionell nivåregleringsbrunn. Vattnet kommer in i brunnen genom inloppet och i brunnen regleras vattennivån av träplankorna. När vattennivån överstiger höjden för plankorna kommer vattnet att svämma över till andra sidan träplankorna och ut genom utloppet. Således blir vattennivån i brunnen och dammen konstant. Principkonstruktionen i figur 2.1 möjliggör en justering av vattennivån via justering av väggens höjd. Genom att plocka av plankor alternativt sätta dit plankor går det att höja eller sänka väggens höjd. Detta i sin tur höjer eller sänker vattennivån i dammen.



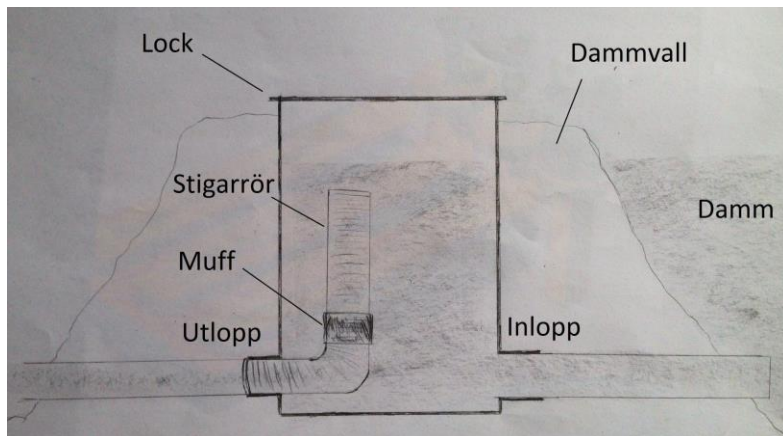
Figur 2.2. Nivåregleringsbrunn med rör (rörmunk).

Figur 2.2 visar en skiss över en rörmunk. Vattnet kommer in i inloppsröret och ut i "stigarröret". När vattennivån i dammen överstiger stigarrörets höjd så svämmar vattnet över röret och ned i brunnen för att sedan flyta ut genom utloppet. Stigarröret kan bytas ut mot kortare respektive längre rör eftersom böjen har en muff. Principkonstruktionen i figur 2.2 ger alltså möjligheten att justera vattennivån i dammen genom att ändra stigarrörets höjd (RTM försäljning AB, 2012). Det går även att koppla om denna brunn så att stigarröret och rörböjen blir utloppet med bibehållen funktion.

Figur 2.3 och figur 2.4 visar installationen av nivåregleringsbrunnar. Nivåregleringsbrunnar grävs ner i dammvallar.



Figur 2.3. Skiss över en installerad nivåregleringsbrunn.



Figur 2.4. Skiss över en installerad rörmunk.

2.2 Utvärdering av koncept

För att få fram ett vinnande koncept användes en utvärderingsgång enligt Johannesson, Persson, Pettersson (2004, s. 133-139). Denna utvärdering inleds först med en elimineringsmatris och sedan en Pughmatris där dessutom viktade önskemål kan användas.

2.2.1 Elimineringmatris

För den första utvärderingen kan man enligt Johannesson et al. (2004, s. 133) använda en elimineringsmatris. Elimineringmatrisen består av elimineringskriterier, till exempel: Löser huvudproblemet, uppfyller alla krav och realiserbar. Alla koncept jämförs med första elimineringskriteriet. Antingen kan ett koncept uppfylla eller inte uppfylla det första elimineringskriteriet. Om konceptet uppfyller det första kriteriet så visas detta med ett plustecken och motsatsen visas med ett minustecken. Utöver detta kan det även förekomma ett frågetecken i denna kolonn som innebär att mer information krävs. Om ett koncept uppfyller ett kriterium går det vidare för utvärdering av nästa kriterium. När ett koncept erhåller ett minustecken skall utvärderingen upphöra direkt eftersom detta innebär att konceptet har eliminerats. De övriga koncepten som får plustecken på alla kriterier går vidare. Erhålls ett frågetecken på något av kriterierna för ett koncept så behövs det mer information innan ett beslut skall tas.

2.2.2 Viktning av önskemål

Nästa steg i utvärderingen av koncepten är Pughmatrisen men för att kunna utföra den på bästa sätt bör önskemålen viktas. Viktning av önskemål sker aldrig helt objektivt men för att minimera den subjektiva bedömningen finns strukturerade sätt att vikta önskemål. En metod för att på ett strukturerat och objektivt sätt vikta önskemål är att använda en viktbestämningsmatris. I viktbestämningsmatrisen jämförs alla önskemål parvis. I den parvisa jämförelsen låter man de två önskemålen dela på värdet 1. Om t.ex. önskemål A är mycket viktigare än önskemål B får önskemål A värdet 1 och önskemål B får värdet 0. Är önskemål A och B lika viktiga får båda värdet 0,5. Den parvisa jämförelsen utförs för varje önskemål och till sist summeras alla värden

för varje önskemål. Det önskemål som får den högsta värdesumman kommer att bli det viktigaste önskemålet. Nästa steg går ut på att göra om värdesumman till en skala på antingen 1-5 eller 1-10. Metoden att bestämma viktsfaktorn w_i för önskemål i kan beskrivas med ekvation 2.1.

$$w_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{imax}} \times w_{imax} \quad (2.1)$$

där

$$\sigma_i = \frac{\text{värdesumman}}{\text{totala summan}}$$

$$\sigma_{imax} = \frac{\text{högsta värdesumman}}{\text{totala summan}}$$

$$w_{imax} = \text{maximala viktsfaktorn (5 eller 10)}$$

Från ekvation 2.1 erhålls viktsfaktorer w_i i skala 1-5 eller 1-10 beroende vad som väljs. Den totala summan i ekvation 2.1 är summan av alla värdesummor från varje önskemål. Det önskemål som får högst värdesumma får poäng 5 eller 10 (Johannesson et al., 2004, s.137-139).

2.2.3 Pughmatris

Det slutgiltiga steget i utvärderingsgången är att genomföra en relativ beslutsmatris enligt Pugh. Pughmatrisen består av den kompletta kravspecifikationen, d.v.s. med alla viktade önskemål och krav. I matrisen väljs en referenslösning som t.ex. kan vara den befintliga produkten som existerar idag eller en konkurrents produkt. De koncept som gick vidare från elimineringsmatrisen används i Pughmatrisen. Alla dessa koncept jämförs en och en med referenslösningen. Utvärderingen utförs på sådant sätt att varje önskemål och krav i Pughmatrisen jämförs med referenslösningen och koncepten. Om ett koncept är bättre än referenslösningen på att uppfylla ett visst önskemål eller krav så markeras detta med ett plustecken och för det motsatta ett minustecken. Är konceptet lika bra som referenslösningen markeras detta med en nolla.

Det sista steget i Pughmatrisen är att summera tecknen i Pughmatrisen. Eftersom önskemålen är viktade måste detta beaktas. Om ett koncept har ett plustecken på t.ex. ett önskemål som är viktat till 4 så innebär detta 4 poäng som adderas till summan. Motsatsen blir ett minustecken som innebär att 4 poäng skall dras av från summan. Kraven i Pughmatrisen har alltid högsta vikten. Genom att på detta sätt summera den totala poängen fås en rangordning för koncepten i Pughmatrisen. Det/de koncept med högsta poängen kan vidareutvecklas. De övriga elimineras i denna fas (Johannesson et al., 2004, s.134-137).

2.3 FEM-modellering och grundläggande hållfasthetslära

2.3.1 FEM-modellering

Finita elementmetoden (FEM) är en numerisk metod för lösning av partiella differentialekvationer. FEM är oftast inbyggt i CAD program för att CAD konstruktörer skall kunna utföra enkla men även komplexa kontroller av hållfastheten på komponenter som skapats i CAD.

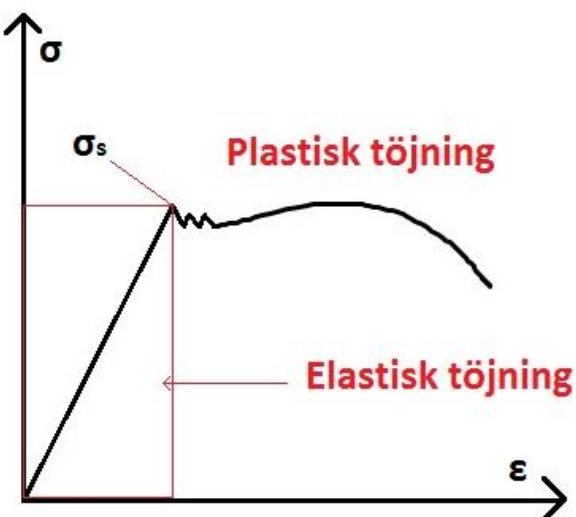
Mesh

Vid FEM-modellering delas den analyserade komponenten in i volymelement. Genom att minska storleken på dessa volymelement till en viss gräns ökar också noggrannheten i beräkningarna. Detta nät av volymelement kallas för "mesh". I CATIA går det att välja en storlek på volymelementen (size) och även justera ett mått som kallas för sag. Sag är ett mått på hur bra volymelementet följer ickelinjära kurvor (G. Persson, personlig kommunikation, 5 september 2014).

2.3.2 Grundläggande hållfasthetslära

E-modul

Vid FEM-modellering används E-modul och sträckgräns som indata. För att beskriva vad E-modul och sträckgräns är för något kan man granska en dragprovkurva enligt figur 2.5.



Figur 2.5. Dragprovkurva.

I dragprovkurvan i figur 2.5 är σ = normalspänning och ϵ = normaltöjning. Normalspänningen är riktad vinkelrätt ut från snittytan på en dragprovstång, d.v.s. i snittytans normalriktning och beräknas enligt ekvation 2.2.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2.2)$$

där

N = normalkraft

A = tvärsnittsarean hos stången

Normaltöjningen för små deformationer definieras enligt ekvation 2.3.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2.3)$$

där

$\delta = L - L_0$ (deformation eller längdändring hos stången)

L = aktuell längd

L_0 = ursprunglig längd

Normaltöjningen ε är alltså ett mått på den längdändring som inträffar efter att en dragprovstång utsatts för normalspänning.

I figur 2.5 finns det två områden i dragprovkurvan. Den första linjära delen av kurvan är det elastiska området. När ett material befinner sig i det elastiska området i ett dragprov så återgår materialet till sin ursprungliga form när belastningen upphör. När materialet utsätts för en normalspänning som är större än sträckgränsen σ_s så hamnar materialet i den plastiska delen av dragprovskurvan, vilket innebär en förändrad geometri även efter avlastning. Hookes lag enligt ekvation 2.4 gäller i det elastiska området. E-modulen är lutningen på den linjära delen av dragprovskurvan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

där

E = E – modul

E-modulen kan tolkas som den elastiska styvheten i materialet (Dahlberg, 2012, s. 14-41).

Von Mises effektivspänning

I ett allmänt tredimensionellt fall kan en kropp utsättas för sammanlagt 3 normalspänningar och 3 skjuvspänningar. Vid en bestämd punkt på kroppen kan alltså spänningstillståndet vara givet med flera komponenter och för att kunna jämföra spänningstillståndet med sträckgränsen behövs ett enda tal, en spänningsstorhet. Den sammanlagda spänningen kallas för effektivspänning och kan beräknas med von Mises hypotes (Dahlberg, 2012, s. 228). Vid FEM-beräkningar i CATIA används von Mises hypotes vid beräkning av effektivspänningen.

2.4 Vattentryck och friktionskrafter

2.4.1 Vattentryck

Trycket p varierar med vattendjupet h enligt ekvation 2.5.

$$p = \rho \times g \times h \quad (2.5)$$

där

$$\rho = \text{vattnets densitet}$$

$$g = 9,81 \text{ N/kg}$$

Trycket i vatten är konstant i horisontalld och varierar enbart i vertikalled. Tryckets storlek är konstant i alla riktningar i en bestämd punkt i fluiden (Cengel, Cimbala och Turner, 2012, s. 37-40).

2.4.2 Maximala friktionskraften vid vila

För att beräkna den maximala friktionskraften $|F|_{max}$ vid vila används ekvation 2.6.

$$|F|_{max} = \mu_s \times |N| \quad (2.6)$$

där

$$\mu_s = \text{statiska friktionskoefficienten}$$

$$|N| = \text{normalkraften}$$

Friktionskraften är alltså beroende av friktionskoefficienten och normalkraften. Friktionskraften uppnår maxvärde strax innan glidning inträffar och det är den största kraften som måste övervinnas för att rörelse skall uppstå. Friktionskoefficienten beror i första hand på material och ytjämnhet. Kontaktytans area spelar mindre roll. Det finns värden på friktionskoefficienter i handböcker och dylikt men de har normalt stor spridning (Grahn och Jansson, 2011, s. 151-152).

2.4.3 Beräkning av kraftresultant på en horisontell vägg i vatten

För att kunna bestämma storleken av kraftresultaten på en horisontell vägg med bredden b i vatten används ekvation 2.7.

$$\int p(y) dA \quad (2.7)$$

där

$$p(y) = \rho \times g \times y \text{ (tryck vid vattendjupet } y)$$

$$dA = b \times dy \text{ (ytelement)}$$

Integrationsgränserna i ekvation 2.7 motsvarar väggens vertikala utsträckning.

3. METOD

3.1 Fältbesök

För att få förståelse hur en nivåregleringsbrunn fungerar och kunna se flera lösningar så har ett antal fältbesök gjorts på platser där man använde sig av olika lösningar på nivåreglering av dammar. Genom att ha granskat verkliga och fungerande lösningar erhöles en bra uppfattning om hur nivåregleringsbrunnar fungerar. Förutom denna granskning fanns det även tillfälle att i samband med fältbesöket i Hässleholm diskutera med personal från Naturvårdsingenjörerna AB angående nivåregleringsbrunnar. Naturvårdsingenjörerna i Hässleholm har en stor erfarenhet av installation av nivåregleringsbrunnar och kunde således bidra med viktig information om fördelar och nackdelar med vissa lösningar och problem som kan uppstå vid installation och drift. För mer information om fältbesöken, se bilaga A.

3.2 Undersökning av dagens utbud

Utöver fältbesöken har det även utförts undersökningar av dagens utbud av nivåregleringsbrunnar med hjälp av internet, handledare på Uponor och Naturvårdsingenjörerna AB. Uponor har även bidragit med information om deras befintliga nivåregleringsbrunnar för ytterligare kunskap som var värdefull vid konceptgenereringen. Kundkrav har erhållits från Uponor och Naturvårdsingenjörerna AB. För mer information, se bilaga B.

3.3 Kravspecifikation och konceptgenerering

Uponors nivåregleringsbrunn har idag en väldigt primitiv och svårjusterad vattennivå. Denna konstruktion har funnits länge och dessutom har det inte skett någon vidareutveckling av brunnen. Med detta i åtanke bestämdes att stort fokus skulle läggas på konceptgenereringen av själva justeringen av vattennivån eftersom den bedömdes ha störst utvecklingsmöjligheter.

Vidare gjordes bedömningen att brunnslocken som existerar idag har förbättringspotential och därför genererades även koncept på brunnslock. I denna fas användes skisser men även CATIA för att illustrera koncepten.

Inspiration för samtliga koncept hämtades från fältbesöken och marknadsundersökningarna. Syftet med de skapade koncepten var att uppfylla alla krav och önskemål så väl som möjligt i kravspecifikationen i figur 3.1. För vidare läsning om de genererade koncepten, se bilaga C.

Krav	Önskemål
Justerbar vattennivå, cirka 50 cm	Billig (att producera och slutpris) alternativt prisvärd (1).
Materialet skall vara det Uponor själva tillverkar.	Lätt att justera nivån.
I förekommande fall tåla rådande grundvattentryck.	Lätt att låsa locket.
Låsbart lock.	Undvika för stort utloppsflöde (pga jorderosion).
	Slät utsida.
	Uppfylla någon form av täthetskrav i själva munken mellan "plankorna" / "skivorna".
	Så stor flexibilitet som möjligt i höjdjustering.
	Så stor flexibilitet som möjligt i anslutande rördimensioner.
	Tömningsventil/lucka som ger möjlighet att tömma dammen.
	Ett standardsortiment med begränsat antal varianter.
	Lätt att öppna och stänga locket.
	Säker justering, får inte fela (2).

Figur 3.1. Krav och önskemål.

- (1) Om lösningen är väldigt bra behöver lösningen inte nödvändigtvis vara billig men den måste vara prisvärd.
- (2) Justeringen skall fungera och inte gå sönder, d.v.s. vara robust.

3.4 Utvärdering av koncept

Vid utvärderingen av det bästa konceptet har först en modifierad elimineringsmatris efter Pahl och Beitz använts. Vid denna första utvärdering eliminerades de koncept som inte uppfyllde elimineringskriterierna. I nästa steg av utvärderingen gjordes det en viktning av önskemålen från kravspecifikationen. Efter viktningen gjordes en relativ beslutsmatris enligt Pugh. Referenslösningen som användes i denna matris var den befintliga nivåregleringsbrunnen med

vägg som Uponor erbjuder idag. Denna utvärderingsgång beskrivs av Johannesson, Persson, Pettersson (2004, s. 133-139). För mer information om konceptutvärderingen, se bilaga D.

3.5 Detaljkonstruktion, CAD och ritningar

Det vinnande konceptet konstruerades i detalj med hjälp av en 3D modell som skapades i programmet Inventor. Uponor använder detta program och därför valdes denna mjukvara för detaljkonstruktionen. Utöver 3D modellen skapades även ritningar i Inventor. Under detaljkonstruktionen delades helhetskonceptet in i olika delsystem.

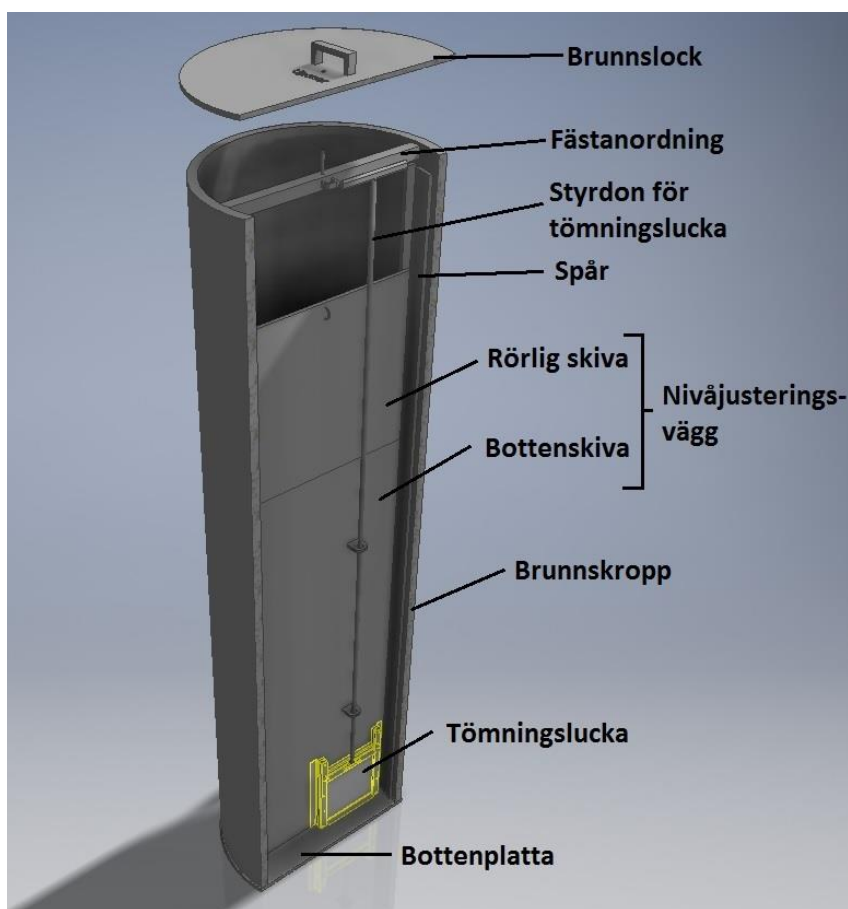
Under arbetets gång gjordes det detaljkonstruktioner på de olika delsystemen ovan för att slutligen sammansättas i en assembly fil för att åskådliggöra helhetslösningen. Vid dimensionering av komponenter som utsätts för belastningar användes FEM i CATIA för att simulera uppkomna spänningar och deformationer.

4. FRAMTAGEN NIVÅREGLERINGSBRUNN

Utifrån kravspecifikationen (se figur 3.1), konceptgenereringen (se bilaga C) och konceptutvärderingen (se bilaga D) har en vinnande lösning tagits fram. Denna har utvecklats vidare och beskrivs i detta kapitel. Den framtagna nivåregleringsbrunnen har delats in i ett antal delsystem.

4.1 Hela systemet samt benämningar på delsystem och beskrivning av funktion

I figur 4.1 redovisas benämningar på de delsystem som ingår i den framtagna nivåregleringsbrunnen. Figur 4.2 visar en sammanställningsritning med diverse mått utsatta.

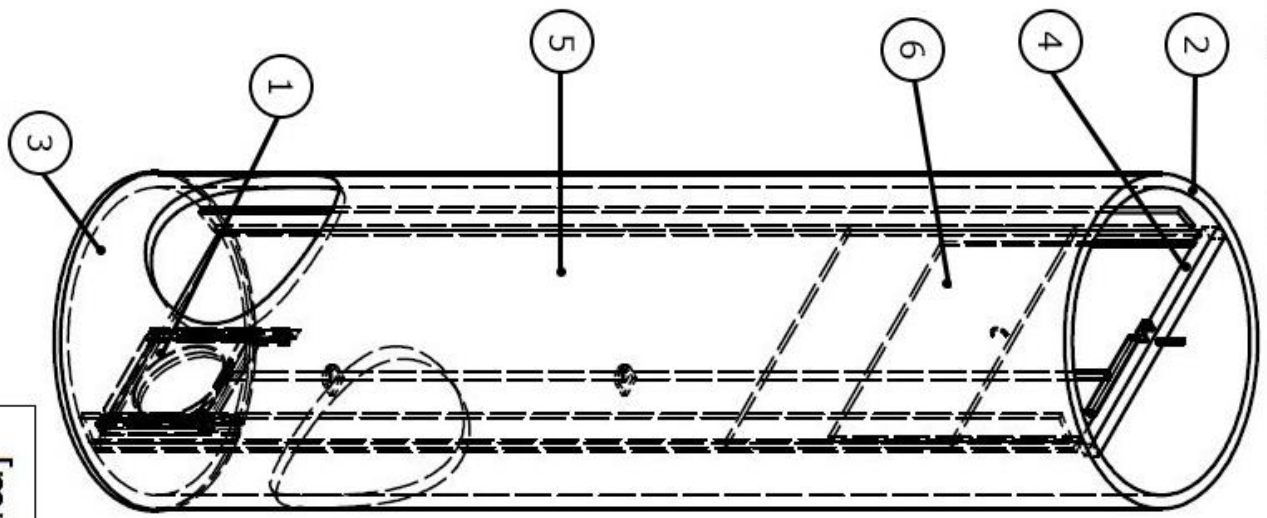
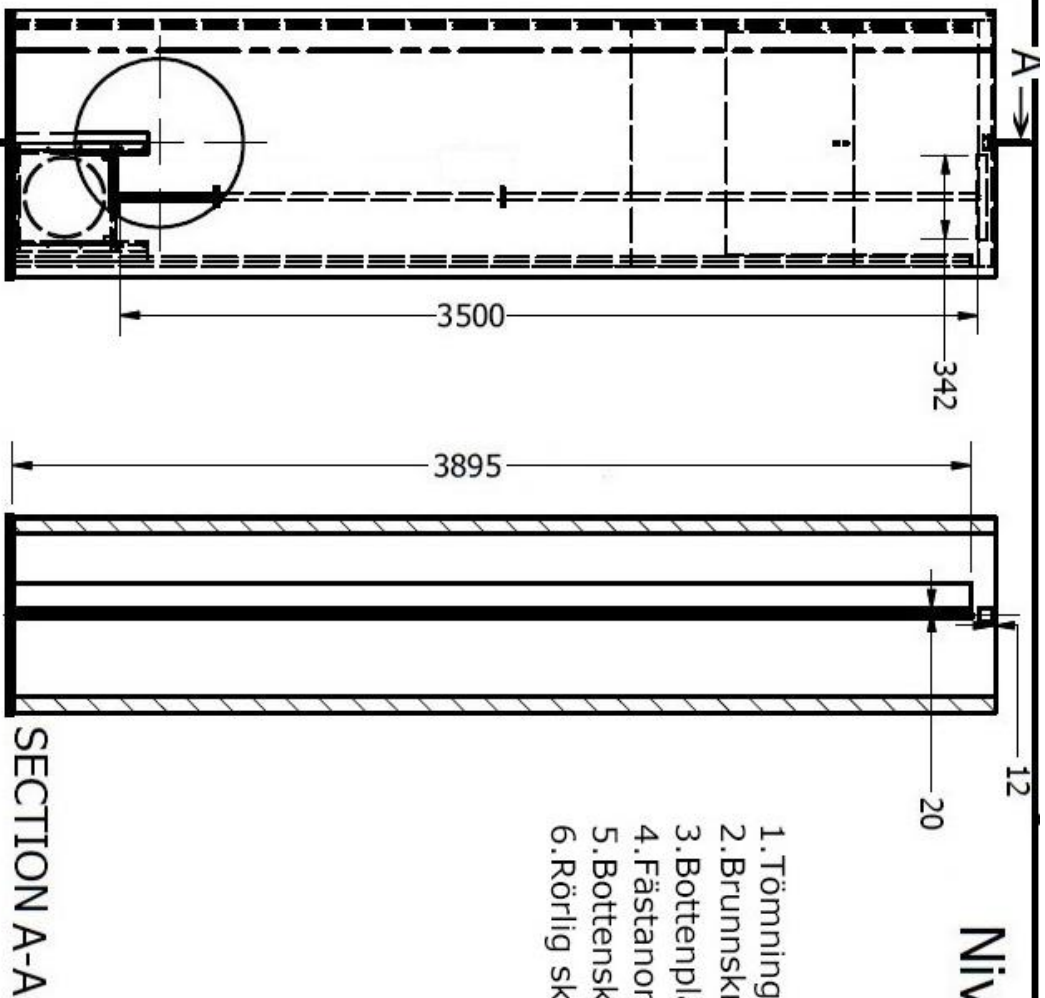


Figur 4.1. Framtagen nivåregleringsbrunn med benämningar på delsystem.

Den framtagna brunnen har en rörlig skiva enligt figur 4.1 som kan justeras upp alternativt ner beroende på om användaren vill höja eller sänka vattennivån. Den rörliga skivan glider mot bottenskivan när brunnen är i drift. Spåret i figur 4.1 fungerar som en styrning för den rörliga skivan när brunnen inte är i drift. Fästanordningen används för att låsa fast både brunnslöcket och den rörliga skivan vid en önskad nivå. Tömningsluckan öppnas genom att dra upp styrdonet. För att stänga luckan ska användaren trycka ner styrdonet.

Nivåregleringsbrunn

- 1. Tömningslucka
- 2. Brunnskropp
- 3. Bottenplatta
- 4. Fästeanordning
- 5. Bottenskiva
- 6. Rörlig skiva



[mm]

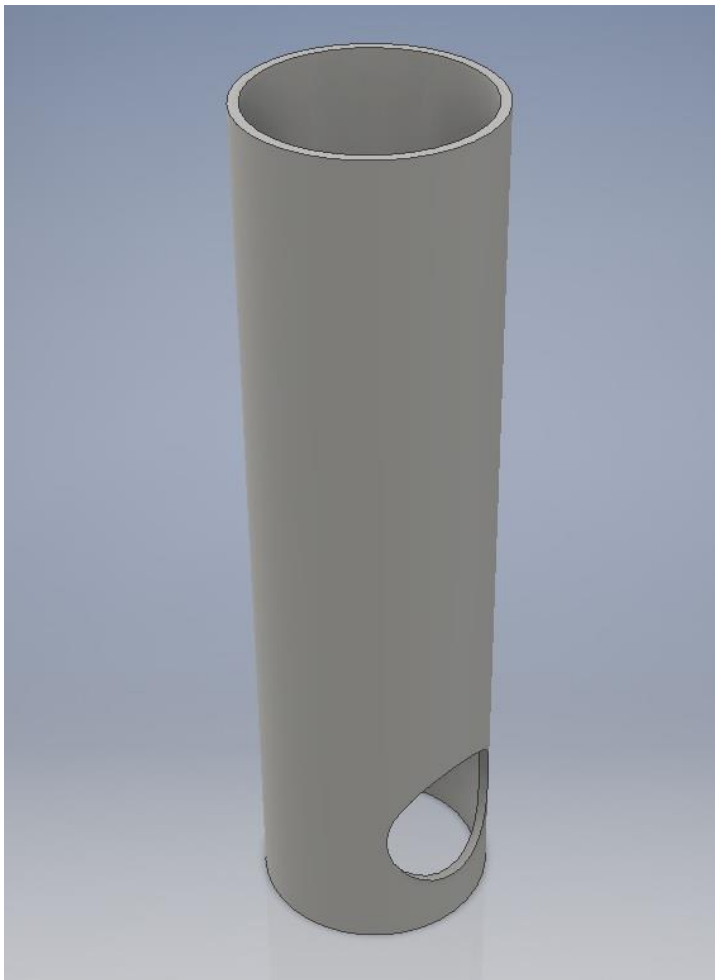
Figur 4.2 Sammanställningsritning med diverse mått utsatta.

4.2 Tömningslucka på bottenskivan

Bottenskivan är försedd med en tömningslucka som manövreras via ett styrdon med ett handtag. Tömningsluckan köps in från WAPRO AB och har modifierats med ett längre styrdon för manövrering i toppen av brunnen. Tömningsluckan kommer i olika storlekar men i detta fall har den minsta använts på grund av önskemål från Uponor. Tanken är att tömningsluckan skall sitta monterad på bottenskivan med skruvar.

4.3 Delsystem – Brunnskropp inklusive bottenplatta

Enligt P-A. Solar (personlig kommunikation, 1 maj 2015) går det åt mer mantimmar vid montering av en fyrkantig brunnskropp jämfört med en cylindrisk brunnskropp. På grund av detta så har en cylindrisk brunnskropp likt tidigare brunnar valts. Den nya brunnskroppen och bottenplattan kommer att tillverkas i PE (polyeten). Se figur 4.3 för en bild på brunnskroppens utformning. I bilaga E återfinns en ritning av brunnskroppen och i bilaga F en ritning av bottenplatta.



Figur 4.3. CAD-modell på brunnskroppen.

4.3.1 Brunnskroppens diameter

För att få ner antalet varianter kommer den nya brunnskroppen att ha en bestämd diameter oavsett vilka dimensioner på in- och utloppsrör som används. För att detta skall fungera ska brunnskroppens diameter vara tillräckligt stor för att klara av flödet hos det största in- och utloppsröret. Eftersom brunnskroppen dimensioneras för det största in- och utloppsröret kommer brunnen även klara av mindre anslutningsrör.

Enligt R.Nilsson (personlig kommunikation, 4 maj 2015) bör anslutningsrörens tvärsnittsarea A_{an} vara max halva tvärsnittsarean hos brunnskroppen A_b . De största anslutningsrören har diametern 684 mm. Den nya brunnskroppens invändiga diameter är vald till 1000 mm varvid olikheten 4.1 uppfylls.

$$A_{an} \leq \frac{A_b}{2} \quad (4.1)$$

där

$$A_{an} = \frac{\pi \times 0,684^2}{4} = 0,3675 \text{ m}^2$$

$$A_b = \frac{\pi \times 1^2}{4} = 0,7854 \text{ m}^2$$

Beräkningarna visar alltså att villkoret 4.1 uppfylls med de största anslutningsrören.

4.3.2 Brunnskroppens vägg och bottentjocklek

Brunnskroppens invändiga och utvändiga diameter är 1000 mm respektive 1088 mm vilket innebär att vägg tjockleken blir 44 mm. Dessa mått har Uponor tidigare använt för sina brunnar.

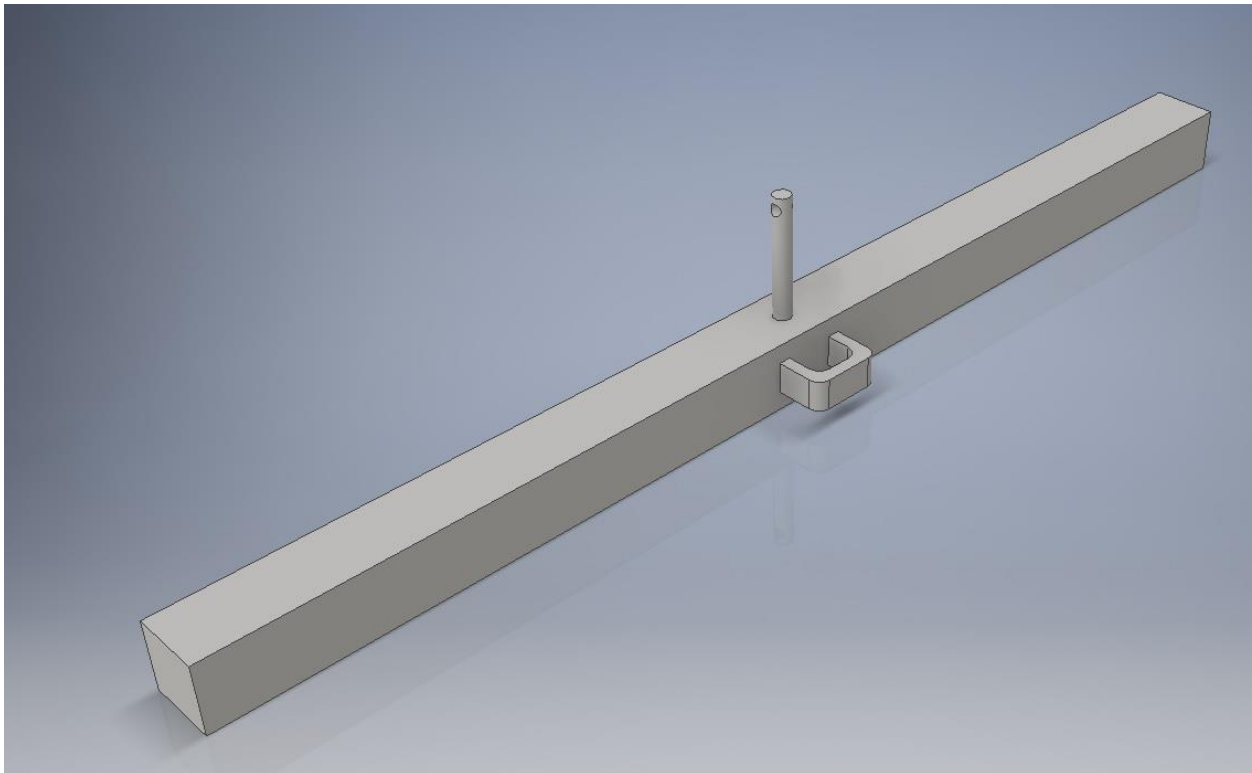
Brunnskroppens botten består av en separat cirkulär bottenplatta som svetsas fast i brunnen. Även bottenplattan kommer att tillverkas i polyeten. Tjockleken på denna bottenplatta är 25 mm och diametern är 1100 mm. Vid dimensionering av bottenplattan användes FEM, se bilaga G.

4.3.3 Brunnskroppens höjd

Enligt P-A. Solar (personlig kommunikation, 1 maj 2015) är det tillräckligt att den nya brunnskroppen har den maximala invändiga höjden 4 meter.

4.4 Delsystem - Fästeanordning

Då den rörliga skivan måste kunna låsas fast vid önskad nivå (se kapitel 4.6) krävs en fästeanordning. Den framtagna fästeanordningen i figur 4.4 är av polyeten (PE) och är försedd med en ögla. I ögla kommer det att sitta en spärrhake monterad. Med hjälp av spärrhaken kan en kedja låsas fast i olika länkar och på detta sätt låsa skivan vid olika nivåer eftersom kedjans nederdel sitter fast i en annan ögla på den rörliga skivan, se figur 4.6. Fästeanordningen är försedd med en stång som står vertikalt och har ett genomgående hål. Denna till att låsa fast brunnslöcket med hjälp av ett hänglås genom hålet. Fästeanordningens ändar är fastsvetsade i den invändiga brunnväggen. En ritning på fästeanordningen återfinns i bilaga H.



Figur 4.4. CAD-modell på fästeanordning.

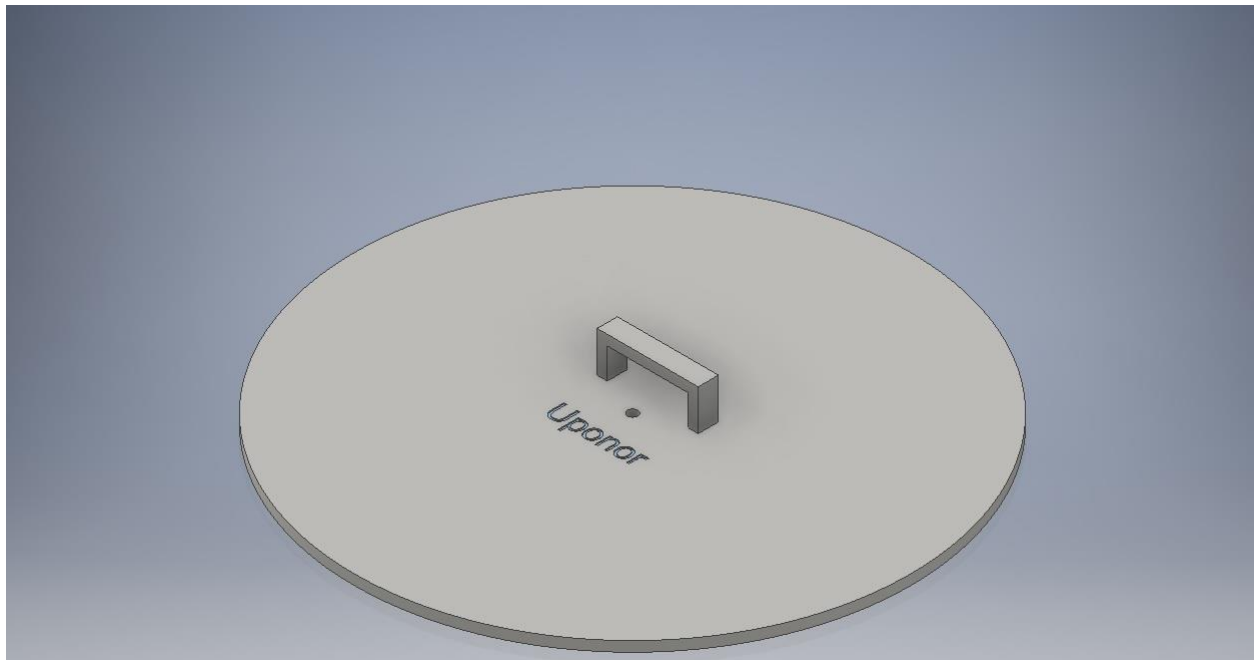
4.4.1 FEM-modellering på fästeanordning

Vid dimensionering av fästeanordningen användes FEM, se bilaga I.

4.5 Delsystem - Brunnslock

Locket har försetts med ett handtag som skall underlätta för användaren att lyfta locket enligt figur 4.5. Dessutom har locket ett hål där en stång från fästanordningen skall gå igenom, se kapitel 4.4. Stången skall användas för låsning med hänglås.

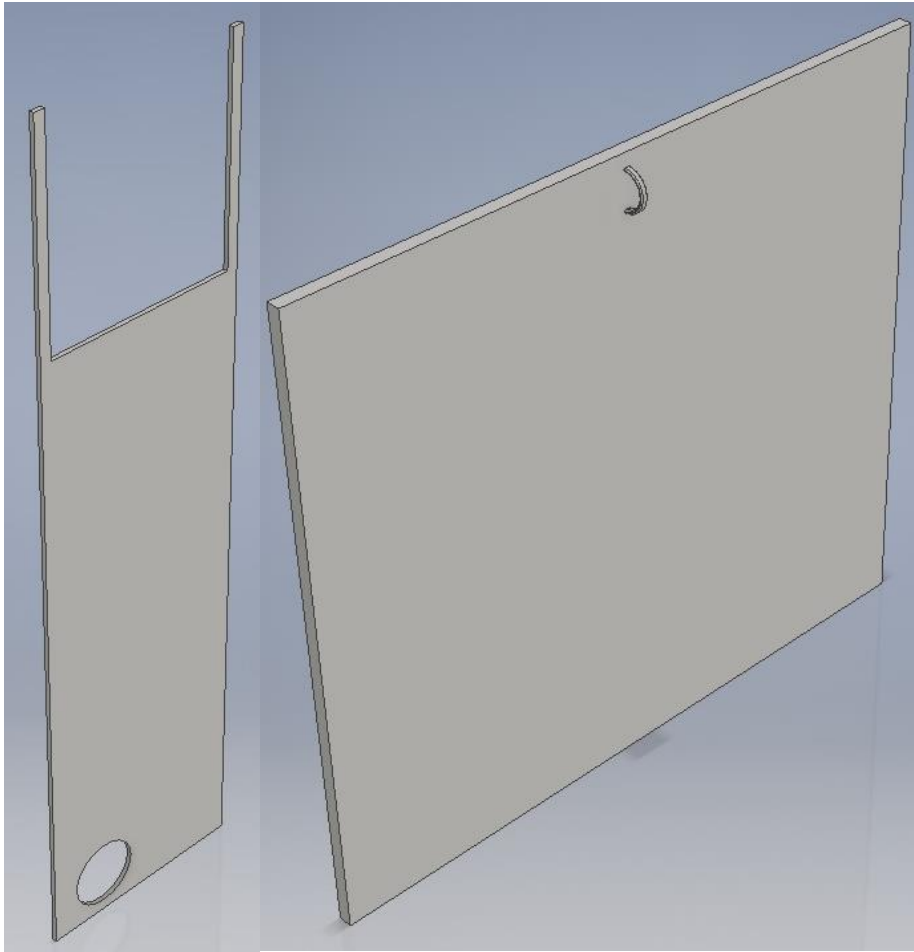
Vid konceptgenereringen hade konceptet på lock 1 (se bilaga C) en välvd yta men på grund av produktionskostnader kommer locket istället att tillverkas av en platt cirkulär polyetenskiva. Ritning på brunnslocket finns i bilaga J.



Figur 4.5 CAD-modell på brunnslock.

4.6 Delsystem - Nivåjusteringsvägg

Nivåjusteringsväggen består av en bottenskiva som är fastsvetsad i brunnskroppen och en rörlig skiva som glider längs bottenskivan, se figur 4.6. Enligt P-A. Solar (personlig kommunikation, 1 maj 2015) köper Uponor in polyetenskivor i dimensionerna 4x2x0,02 m. Vid framtagning av dimensioner på nivåjusteringsväggen så har hänsyn tagits till dessa skivor för att minimera spill.



Figur 4.6 CAD-modell på nivåjusteringsväggen, bottenskivan till vänster respektive rörliga skivan till höger.

I figur 4.6 framgår även öglan på den rörliga skivan som justeringskedjan skall sitta i. Ritningar på bottenskivan och rörliga skivan återfinns i bilaga K respektive L.

4.6.1 Principlösningar för att klara lyftning av rörliga skivan

För att få en uppskattning om hur tungt det kan bli att lyfta den rörliga skivan så gjordes friktionsberäkningar, se bilaga M. Enligt friktionsberäkningarna blir friktionskraften 991 N.

Utöver friktionskraften måste även skivans tyngd tas hänsyn till för att bestämma lyftkraften som krävs för att kunna justera nivån uppåt. Skivans massa är 17 kg (se bilaga I för massberäkning) som motsvarar kraften 167 N. Tillsammans med friktionskraften skulle detta innebära att användaren måste kunna applicera en lyftkraft av cirka 1,2 kN för att justera den rörliga skivan uppåt. Detta problem kan lösas genom att antingen sänka friktionskraften eller att utveckla en lyftanordning som underlättar justeringen. Det går även att både sänka friktionskraften och använda en lyftanordning för bästa resultat. Nedan följer några principlösningar på detta problem:

Principlösning 1

I denna principlösning skall skivan förses med hjul i varje hörn enligt bilaga N. Dessa hjul kommer att ha kullager placerade på fasta axlar som är monterade på skivornas kantsidor. Med denna lösning kommer rörelsemotståndet minskas betydligt vilket innebär att erforderlig lyftkraft minskas mycket.

Principlösning 2

I principlösning 2 är tanken att minska friktionskoefficienten. Genom att använda sig av speciellt anpassade glidlagerytor på botten-skivan och den rörliga skivan kan detta åstadkommas. Se bilaga O för en möjlig placering av glidlagerytor. Det existerar idag glidlager gjorda i plast med lågt friktionstal och det skulle möjligtvis fungera bra i denna tillämpning.

Principlösning 3

Genom att minska bredden och främst höjden på den justerbara skivan medför detta att vattentryckets påverkan på skivan minskas, d.v.s. kraftresultanten från vattentrycket blir lägre, jämför ekvation 2 i bilaga M. Se bilaga P för schematiskt exempel hur den rörliga skivans dimensioner kan minskas.

Principlösning 4

I principlösning 4 behålls den framtagna nivåregleringsbrunnen intakt varmed den stora friktionskraften måste övervinnas. Detta görs genom att använda en kulmutterskruv för att lyfta den rörliga skivan, se bilaga Q för en CAD-modell på denna principlösning. I denna lösning skulle det kunna gå att montera muttern på skivan och spindeln vertikalt i fästordningen med ett lager. Genom att skruva på spindeln kommer muttern som är fastmonterad i skivan att lyfta alternativt sänka skivan.

5. REKOMMENDATIONER OCH DISKUSSION

5.1 Rekommendationer för fortsatt arbete

Under produktutvecklingen har det dykt upp nya delproblem som i många fall varit komplicerade att lösa på grund av informationsbrist och tidsbrist. Detaljkonstruktionen är nästan helt klar men det kvarstår dock en del arbete för att göra den fulländad, vilket är ett måste om produkten skall tillverkas och komma ut på marknaden. Nedan följer rekommendationer för fortsatt arbete med detaljkonstruktionen.

5.1.1 Test med fullskalig prototyp

Eftersom FEM-modelleringen gav uppskattningar om vilka dimensioner som bör användas på den nya brunnen är det viktigt att göra en fullskalig prototyp för att testa hållfastheten. Dessutom är testet det enda sättet att undersöka hur mycket vattenläckage som uppkommer mellan den rörliga skivan och bottenskivan, d.v.s. bedöma om vattenläckaget är acceptabelt eller inte.

5.1.2 Vidareutveckling av principlösningar för nivåjustering

Det vinnande konceptet som gick vidare till detaljkonstruktionen har en hög friktionskraft mellan den rörliga skivan och bottenskivan som skivan glider på. Den höga friktionskraften innebär att det blev alldeles för tungt för att manuellt lyfta skivan med en kedja. Med skivans tyngd hamnade den totala nödvändiga lyftkraften på cirka 1,2 kN. För att lösa detta problem har det tagits fram 4 stycken principlösningar, se kapitel 4.6.1. Nedan följer lite mer utförliga rekommendationer för ett fortsatt arbete med dessa principlösningar. Utöver dessa principlösningar rekommenderas även att andra lösningar tas i åtanke.

- **Rekommendationer för principlösning 1**

För att principlösning 1 skall fungera krävs det att hitta en leverantör som kan erbjuda vattentåliga rullningslager. Det rekommenderas att beräkna kostnadsökningen vid införandet av lagrade hjul. Det är även viktigt vid arbete med denna principlösning att ta hänsyn till det vattenläckage som uppstår vid gränssnittet mellan hjulen och bottenskivan.

- **Rekommendationer för principlösning 2**

För att principlösning 2 ska fungera förutsätts att det finns en leverantör som kan leverera linjära glidlager. Nästa rekommendation är att hitta glidlager som sänker friktionskoefficienten tillräckligt, uppskattningsvis cirka 1/10 av den friktionskoefficienten som användes vid friktionsberäkningarna. Med en 90 % sänkning av friktionskoefficienten så blir erforderlig lyftkraft cirka 266 N.

- **Rekommendationer för principlösning 3**

Med principlösning 3 går det att minska friktionskraften efter behov genom att göra den rörliga skivan mindre, men en rekommendation är att testa eller beräkna den minsta möjliga storleken på skivan innan flödet över skivan blir otillräckligt. I de fall där skivan

är för liten kommer nivån att bli högre än den justerade vattennivån eftersom allt inkommande vatten inte kan svämma över den rörliga skivan med tillräckligt flöde.

- **Rekommendationer för principlösning 4**

För principlösning 4 rekommenderas att hitta en underleverantör som kan leverera en komplett kulmutterskruv som är vattentålig och klarar av drygt 1,2 kN axiell belastning. Vidare krävs dimensionering för de lager som måste användas i fästena. En ytterligare rekommendation är att arbeta vidare med fästanordningen eftersom denna kommer att utsättas för en mycket kraftigare belastning. Denna belastning kan även innebära att ett annat material måste användas för fästanordningen samt möjligtvis även en helt annan utformning av fästanordningen. Slutligen måste det moment som krävs för att höja/sänka skivan beräknas, samt laborera med olika längder på hävarmarna hos skruvens handtag för att få en bra balans mellan kraft och storlek.

5.1.3 Vidareutveckling av tömningsluckan

I produktutvecklingsarbetet har Uponor efterfrågat att använda den minsta tömningsluckan från WAPRO AB, men utan tester och beräkningar är det möjligt att denna lucka inte klarar av det flöde som kan uppkomma i nivåregleringsbrunnen. Det mest kostnadseffektiva sättet vore att få fram den minsta tvärsnittsarean på tömningsluckan som krävs för flödet och sedan använda en tömningslucka från WAPRO AB som är minst lika stor som den beräknade tvärsnittsarean.

På grund av tidsbrist har det inte tagits hänsyn till hur tömningsluckan skall sitta monterad på bottenskivan. En rekommendation för fortsatt arbete är undersöka hur många skruvar som krävs per fläns för att luckan skall vara tät och sitta robust.

Det rekommenderas även att vid vidare arbete ta hänsyn till den kraft som krävs för att stänga och öppna tömningsluckan. Kraften är en funktion av vattentrycket som är känt och friktionskoefficienten hos luckan. För att få en uppfattning om denna kraft krävs uppgift om friktionskoefficienten för tömningsluckan vid öppning och stängning, men det skulle även vara tillräckligt att testa luckan och mäta kraften som krävs. På grund av att det inte gjorts en sådan friktionsberäkning eller test så har inte materialval för styrdonet utförts. Styrdonets materialval beror alltså på den maxkraft som den kommer att utsättas för och därför är det viktigt att först beräkna den maximala kraft som krävs för att manövrera tömningsluckan.

Det rekommenderas även att testa fram hur många styrningar som skall användas för att styrdonet skall vara stabilt. På grund av styrdonets stora längd kan detta bli ett problem.

5.1.4 FEM-modellering av bottenskiva

Slutligen rekommenderas även att det utförs en FEM-modellering av bottenskivan. Bottenskivan utsätts för ett högt vattentryck som ökar linjärt med vattendjupet. Vid detaljkonstruktionen användes en 20 mm tjock bottenskiva eftersom råmaterialet kommer i denna tjocklek. För att

kunna göra en bedömning om denna tjocklek är tillräcklig för att klara av vattentrycket så rekommenderas det att utföra en FEM-modellering samt ett riktigt test för bästa resultat. Om 20 mm bottenskiva inte räcker, så måste givetvis tjockleken ökas.

5.1.5 Beräkning av produktionskostnader

Efter att detaljkonstruktionen blir klar bör även en beräkning av produktionskostnaden för den nya nivåregleringsbrunnen tas fram. Ett önskemål i kravspecifikationen är att den nya nivåregleringsbrunnen skall vara billig alternativt prisvärd. Det är självklart att den nya nivåregleringsbrunnen kommer att bli dyrare än de gamla brunnarna som finns i Uponors sortiment idag. Den nya brunnen är mer komplex och har flera funktioner och därför är det naturligt att priset stiger. Det går alltså att dra slutsatsen att nivåregleringsbrunnen inte kommer att bli billigare men den måste bli mer prisvärd än den gamla för att Uponors kunder ska betrakta brunnen som attraktiv. Eftersom den nya nivåregleringsbrunnen har en helt ny och relativt komplex konstruktion så finns det en risk att produktionskostnaderna drar iväg till nivåer där prissättningen blir för hög för kunderna.

5.2 Erfarenheter

Under marknadsundersökningen insågs att nivåregleringsbrunnar är relativt ovanliga och att deras principkonstruktion har varit oförändrad under en lång period. Det är inte många företag i Sverige som säljer nivåregleringsbrunnar. Eftersom principkonstruktionen har varit oförändrad under en lång period så har nivåjusteringen med tiden blivit primitiv och ansträngande. Med dagens teknik borde det gå att utveckla en nivåregleringsbrunn med en smidigare och generellt bättre nivåjustering. Under arbetets gång har det dykt upp många alternativa sätt att bygga en nivåregleringsbrunn. Det som upplevdes begränsande i denna produktutveckling var produktionskostnaden. Kunderna som köper en nivåregleringsbrunn vill oftast ha en enkel och väldigt billig lösning och med nya koncept kan kostnaden och enkelheten bli problematisk. Denna problematik kvarstår fortfarande som ett frågetecken för den framtagna nivåregleringsbrunnen eftersom den måste vidareutvecklas.

På grund av att den framtagna nivåregleringsbrunnen har en helt ny konstruktion som är annorlunda än de existerande nivåregleringsbrunnarna, så har väldigt många oväntade delproblem dykt upp under arbetets gång. För att lösa dessa delproblem har det tagit mer tid än väntat och detta är anledningen till att det har getts förslag på principlösningar som inte är färdiga utan bör utvecklas vidare. Denna erfarenhet tyder på att det krävs oerhört mycket tid och resurser för att utveckla en helt ny produkt.

Att arbeta med ett verkligt produktutvecklingsprojekt har varit väldigt intressant och givande. Den största drivkraften för detta projekt har varit möjligheten att se den framtagna nivåregleringsbrunnen i Uponors sortiment i framtiden. Det har även varit intressant att arbeta med Uponor eftersom det har erhållits en insikt i hur ett teknikföretag arbetar.

Eftersom produktutvecklingen inte hade några tydliga avgränsningar från Uponors sida var det viktigt att strukturera upp problemet och noga planera på vad som hann göras. Oavsett hur välstrukturerad och noggrann planering som utfördes så insågs det att oväntade hinder och problem dök upp. Detta bidrog till att nya avgränsningar var tvungna att införas eftersom examensarbetet annars hade varit svårt att utföra inom tidsramen.

6. SLUTSATSER

Med syftet och frågeställningarna i åtanke kan följande slutsatser dras:

- Produktutvecklingsprojektet resulterade i en framtagen lösning som Uponor Infrastruktur AB vill erbjuda till sina kunder i framtiden.
- Den framtagna nivåregleringsbrunnen kommer att sänka antalet varianter, minska produktionskostnader och minska kostnader för lagerhållning.
- Det nya brunnslocket kommer att vara låsbart samt enkelt att öppna och stänga.
- Det finns ett antal förslag på principlösningar för nivåjustering som har en stor påverkan på produktionskostnaden och därmed avgörande betydelse om produkten blir prisvärd eller ej.
- Det är till viss del fortfarande oklart om nivåjusteringen hos den nya nivåregleringsbrunnen blir både enklare och mindre tidskrävande. Det finns ett antal principlösningar på nivåjusteringen som behöver utvecklas och utvärderas vidare.

7. REFERENSER

Agri Drain. 2015. *Inline water level control structure*. Hämtad från <http://www.agridrain.com/watercontrolproductsinline.asp>

Aquatic Biologists. 2015. *Water control overflow valve*. Hämtad från <http://www.aquaticbiologists.com/pond-liners,-filter-fabric--building-supplies/anti-seep-collars,-water-control-valves,-overflow-valves>

Bygghemma Sverige AB. 2015. *Brunnslock*. Hämtad från <http://www.bygghemma.se/inomhus/varme-och-ventilation-och-vvs/avlopp-utomhus/brunnslock-brunnspecialisten-glasfiberarmerad-plast/p-217446-%7B0%7D>

Cengel, Y., Cimbala, J. och Turner, R. (2012). *Thermal-Fluid Sciences*. New York: McGraw-Hill

Dahlberg, T. (2012). *Teknisk hållfasthetslära*. Lund: Studentlitteratur AB

Johannesson, H., Persson, J-G. och Pettersson, D. (2004). *Produktutveckling*. Stockholm: Liber AB

Kemfilter AB. 2015. *Brunnslock*. Hämtad från <http://kemfilter.se/brunnslock.html>

RTM försäljning AB. 2012. *Rörmunk*. Hämtad från <http://r-t-m.nu/vattennivareglering/rormunk.html>

Sveriges Mekanförbund. (1984). *Materialval och materialdata*. Stockholm: Sveriges Mekanförbund.

Uponor Infrastruktur AB. 2013. *Uponor Teknisk Handbok*. Fristad: Uponor Infrastruktur.

Bilaga A – Fältbesök

Fältbesöken gjordes på två platser, i Tranemo och Hässleholm.

Tranemo

I Tranemo granskades två lösningar på nivåreglering av dammar. Dessa två lösningar har en av handledarna på Uponor installerat. Nedan följer bilder och beskrivningar hur lösningarna fungerar.

Den första lösningen som granskades under fältbesöket finns under gallret i figur 1. Denna lösning är billig och enkel. Konstruktionen består i princip av ett vanligt plaströr som fungerar som dammens utlopp. Röret är horisontellt för att sedan böjas uppåt vertikalt. Höjden på den vertikala delen av utloppsröret bestämmer vattennivån. För att stötta röret finns det en konstruktion under vattnet. På toppen av röret finns ett galler som hindrar att större partiklar täpper till röret.

Fördelen med denna lösning enligt J-O. Olofsson (personlig kommunikation, 25 mars 2015) är att lösningen är billig och enkel att installera. Nackdelen är att det är besvärligt att justera vattennivån och att tömma dammen. Dessutom kan igensättning av gallret ske relativt lätt vilket leder till att regleringen av vattennivån slutar att fungera.



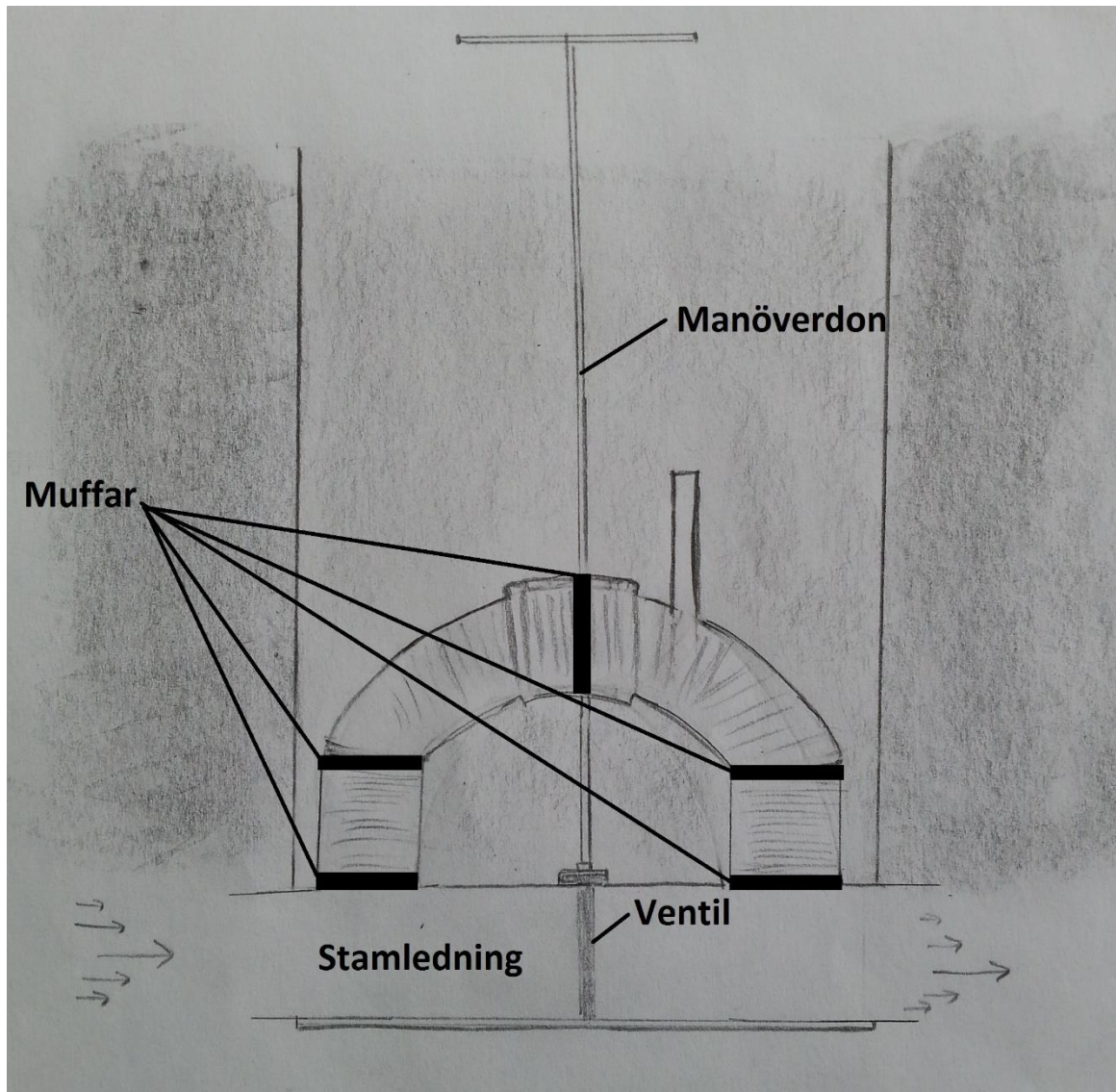
Figur 1. Enkel nivåreglering av damm, Tranemo.

Figur 2 visar den andra lösningen som granskades i Tranemo. Den här lösningen är mer komplicerad än den första lösningen som granskades där. Denna lösning är en variant av en rörmunk och den består av en cirkulär brunn som är nedgrävd i en dammvall.



Figur 2. En variant av rörmunk, Tranemo.

Figur 3 är en skiss som tydliggör hur konstruktionen ser ut och kan beskrivas enligt följande. Brunnen har ett in- och utloppsrör som går rakt igenom brunnen, denna ledning kan även benämnas stamledning. Detta rör är sedan förgrenat på två ställen. De två förgreningarna leder vattnet vertikalt och dessa två vertikala rör sätts sedan ihop i en böj högre upp. Höjden på de två vertikala rören bestämmer vattennivåns höjd. Utöver detta har stamröret försetts med en ventil som för hand kan stängas eller öppnas, se figur 3 för manöverdonet. När denna ventil öppnas så åstadkoms en direkt koppling mellan in- och utloppet. Med denna funktion kan användaren tömma dammen vid behov.



Figur 3. En skiss på rörmunken i figur 2.

Fördelen med denna lösning är att användaren vid behov snabbt kan sänka vattennivån kraftigt för att till exempel rensa dammen från diverse växter och oönskat skräp. Nackdelen med denna lösning är att det är besvärligt att reglera nivån eftersom användaren måste dra av muffarna med kraft för att kunna ändra de vertikala rörens längd (J-O. Olofsson, personlig kommunikation, 25 mars 2015).

Hässleholm

Besöket i Hässleholm var hos Naturvårdsingenjörerna AB. Detta företag arbetar huvudsakligen med vattenprojekt, t.ex. våtmarker och dagvattensystem. De har mycket erfarenhet av installation och drift av nivåregleringsbrunnar. Vid deras kontor i Hässleholm fanns en damm med en installerad nivåregleringsbrunn som har en traditionell konstruktion där nivåregleringen sker med hjälp av brädor, se figur 4 och 5.



Figur 4. Ovansidan av brunnen, Hässleholm.



Figur 5. Brunnen med locket borttaget, Hässleholm.

I figur 5 går det att se att nivåregleringen i denna brunn sker med hjälp av en vägg som byggs upp av brädor.

Fördelar med denna lösning är att nivån kan justeras i många olika höjder och att det krävs relativt lite kraft för att justera väggen. Nackdelen med denna brunn är att det inte är tätt mellan brädorna vilket kan vara ett problem när dammen inte har ett inflöde. Detta kan leda till att dammen töms efter en lång period av t.ex. torka eller brist på inflöde av vatten. Dessutom är justeringen tidskrävande eftersom brädorna måste plockas bort en i taget då vattennivån ska sänkas. När en bräda plockas av så ökar vattenflödet över väggen tills vattennivån sjunkit till samma höjd som den översta brädan. Det ökade vattenflödet innebär problem vid borttagning av ytterligare brädor och därför väntar man tills vattennivån sjunkit för vidare sänkning av vattennivån.

Under besöket i Hässleholm fanns även tillfälle att granska en oinstallerad rörmunk. Denna rörmunk har en mer traditionell lösning jämfört med rörmunken i Tranemo, se figur 6 och 7.



Figur 6. Utloppet på rörmunken, Hässleholm.



Figur 7. Vy ovan på rörmunkens stigarrör, Hässleholm.

Figur 6 visar utloppet och figur 7 visar det vertikala stigarröret (inloppsröret). Stigarröret bestämmer höjden på vattennivån.

Fördelen med denna typ av nivåregleringsbrunn är att konstruktionen blir helt vattentät, vilket är önskvärt i dammar som kan stå länge utan något inflöde. Nackdelen är att justeringen av nivån är svår att utföra eftersom användaren måste dra av det vertikala röret från en muff samtidigt som det finns vatten i röret (R.Nilsson, personlig kommunikation, 25 mars 2015).

Synpunkter från Naturvårdsingenjörerna

Som tidigare nämnts fanns det möjlighet att diskutera med en person från Naturvårdsingenjörerna AB. Under denna diskussion framgick det några synpunkter på hur pass bra eller dåligt vissa konstruktioner fungerade och även vissa önskemål på nivåregleringsbrunnar. Det framgick att personalen värdesätter en användarvänlig brunn där nivån enkelt kan justeras och har ett brunnslock som enkelt kan öppnas och stängas med låsfunktion. Som låsfunktion föredrogs stångvarianten som kan ses i figur 8, 9 och 10.



Figur 8. Brunnslöck som låses med stång, Hässleholm.



Figur 9. Stång som dras ut för att öppna brunnslöcket, Hässleholm.



Figur 10. Undersidan av locket, Hässleholm.

För nivåregleringen föredrogs de traditionella brädorna. Ett problem som framgick vid diskussionen var att efter installation fick brunnarna en ovalitet på grund av jordlasten. Ovaliteten medför att det kan bli svårt att få in brädorna eftersom dimensionerna på brunnen ändras.

Under diskussionen kom det fram att priset är väldigt avgörande för valet av nivåregleringsbrunn (R.Nilsson, personlig kommunikation, 25 mars 2015).

Bilaga B – Dagens utbud

Dagens utbud av nivåregleringsbrunnar hos övriga tillverkare

Innan konceptgenereringen påbörjades utfördes en marknadsundersökning på dagens utbud av nivåregleringsbrunnar. De nedan listade produkterna som existerar på marknaden idag uppfyller många krav och önskemål från kravspecifikationen (se figur 3.1). Dessa lösningar bidrog starkt som inspirationskälla till konceptgenereringen.

Fyrkantig nivåregleringsbrunn med plastskivor och krokar

Vid undersökningen av dagens utbud hittades en fyrkantig nivåregleringsbrunn som reglerar vattennivån med hjälp av en vägg som består av plastskivor som kan läggas i och plockas ur. Plastskivorna är försedda med krokar som används tillsammans med medföljande verktyg för att underlätta nivåjusteringen. Utöver detta har plastskivorna även tätningar monterade för att hindra läckage mellan skivorna. Denna nivåregleringsbrunn har också en handlucka som kan användas för att tömma dammen helt (Aquatic Biologists, 2015), (Agri Drain, 2015).

Vid undersökningen fanns flera återförsäljare/tillverkare som hade nästan exakt samma konstruktioner men med olika materialval, t.ex. PVC (polyvinylklorid), PE (polyeten) och metall. Denna lösning är vanligt förekommande på den amerikanska marknaden.

Rörmunk

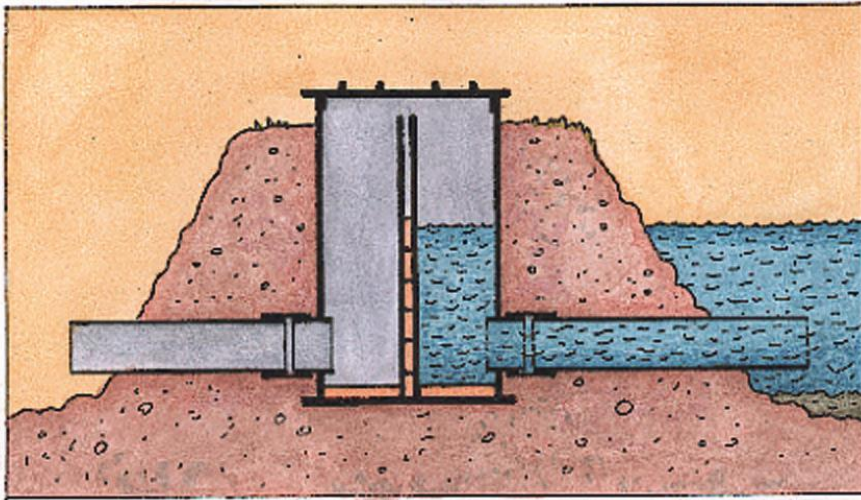
En ytterligare lösning som hittades vid undersökning på internet var rörmunken som även granskades under fältbesöket i Hässleholm. På internet hittades RTM försäljning AB, (2012) som säljer typiska rörmunkar tillverkade av PE (polyeten). Rörmunken finns beskriven i teorin om nivåregleringsbrunnar i kapitel 2.1.

Dagens utbud av nivåregleringsbrunnar hos Uponor

Uponor har idag två typer av nivåregleringsbrunnar som förekommer i flera storlekar på anslutningar till in- och utlopp, olika brunndiameter och brunnhöjd.

Munken

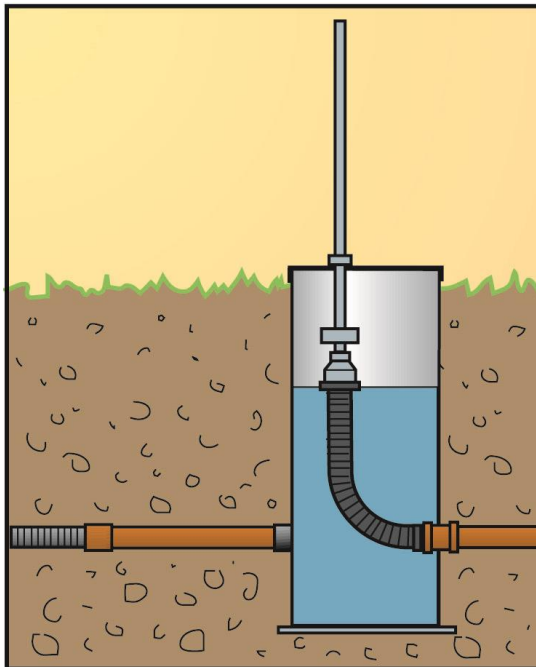
“Munken”, se figur 1, är den klassiska konstruktionen där bräddor används för att justera höjden på vattennivån. Idag erbjuder Uponor denna typ av brunn i sitt sortiment. Den tillverkas av PP (polypropen) (Uponor Infrastruktur AB, 2013, s. 173, 178).



Figur 1. Munken, Uponor Infrastruktur AB. Återgiven med tillstånd.

MiniMunken

“MiniMunken”, se figur 2, är en vidareutveckling av en rörmunk. Principkonstruktionen är densamma som en rörmunk som beskrivs i kapitel 2.1, men skillnaden är att stigarröret består av ett förlängningsbart flexrör som kan justeras upp eller ner väldigt enkelt. På detta sätt ändras vattennivån. Flexröret är anslutet till en stång som kan låsas fast i olika lägen på brunnslocket.



Figur 2. MiniMunken, Uponor Infrastruktur AB. Återgiven med tillstånd.

Uponor erbjuder MiniMunken i begränsad storlek för mindre dammar. Även MiniMunken är tillverkad av polypropen (Uponor Infrastruktur AB, 2013, s. 174, 178).

Dagens utbud av brunnslock med låsning

I kravspecifikationen är ett krav att brunnslocket skall vara låsbart och smidigt att öppna. För att få lite inspiration och idéer gjordes en marknadsundersökning av dagens utbud på internet.

Brunnslock hos övriga tillverkare

Efter en omfattande undersökning av låsbara brunnslock insågs att de flesta återförsäljare i Sverige erbjöd låsbara brunnslock med samma principkonstruktion. Denna principkonstruktion bestod av ett lock med ett hål i mitten. Genom detta hål går det en gängad stång som sticker ut en bit utanför locket. Stången sitter fast i en fästanordning på insidan av brunnen. Fästanordningen är i sin tur skruvad i brunns vegg. För att låsa fast locket används en mutter på den utstickande delen av den gängade stången. Locken som hittades vid undersökningen var tillverkade av plast alternativt glasfiberarmerad plast (Bygghemma Sverige AB, 2015), (Kemfilter AB, 2015).

Brunnslock hos Uponor

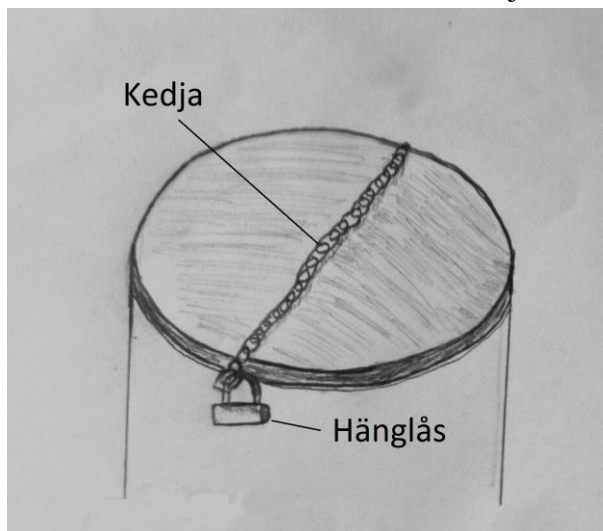
Uponor erbjuder brunnslock till deras nivåregleringsbrunnar. I sortimentet finns det ett antal varianter.

Stångvariant

Denna variant består av en väldigt enkel konstruktion. Locket har på insidan en ihålig tvärbalk där en stång går igenom och låses fast i ena änden. Denna lösning granskades även under fältbesöket, se figur 8, 9 och 10 i bilaga A.

Kedjevariant

I denna variant låses locket med en kedja över locket enligt figur 3.



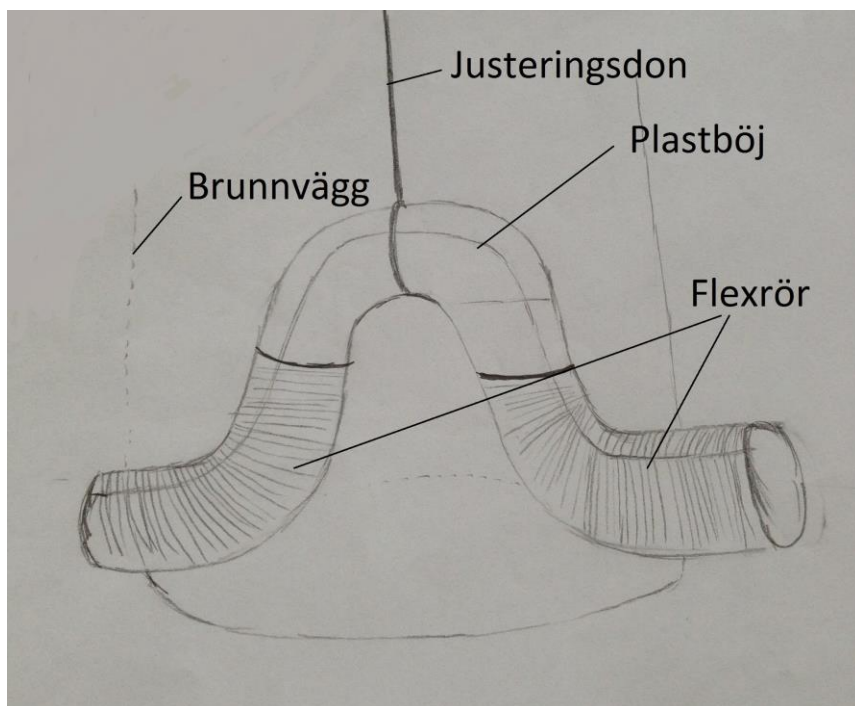
Figur 3. Brunnslock som låses med hjälp av en kedja.

Bilaga C – Konceptgenerering

Konceptgenerering med fokus på nivåjustering

Koncept 1

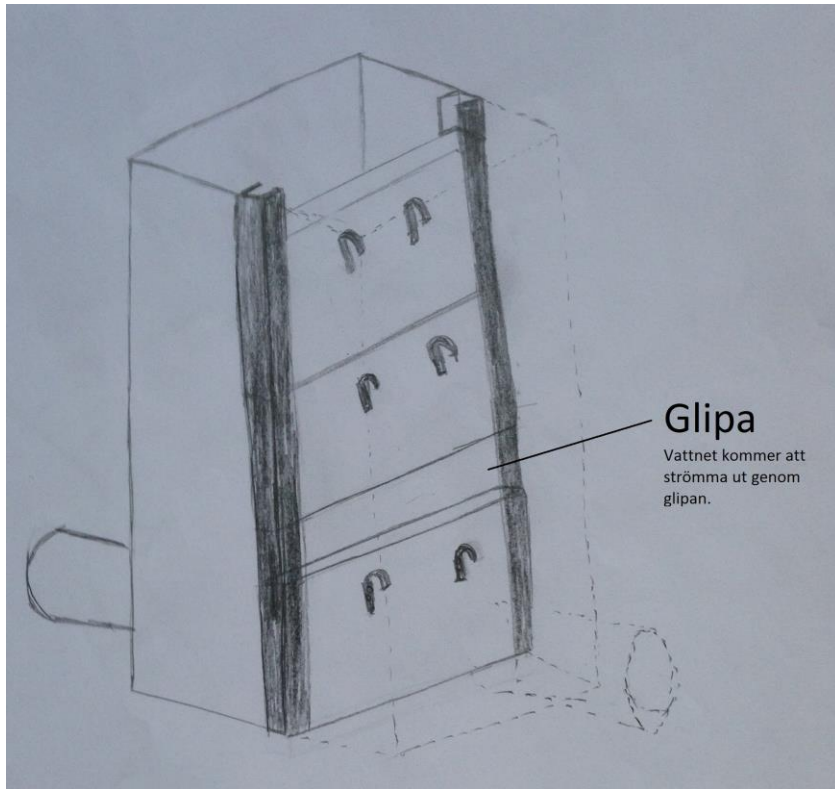
Koncept 1 är en vidareutvecklad version av rörmunken som granskades på besöket i Tranemo. Med koncept 1 är tanken att justeringen av vattennivån blir enklare än rörmunken i Tranemo. Genom att använda ett flexrör istället för fasta rör som figur 1 visar är det möjligt att få en böj som kan lyftas eller sänkas med hjälp av en kedja eller dylikt. Denna justering av vattennivån hade varit väldigt enkel att utföra förutsatt att flexröret är tillräckligt flexibla.



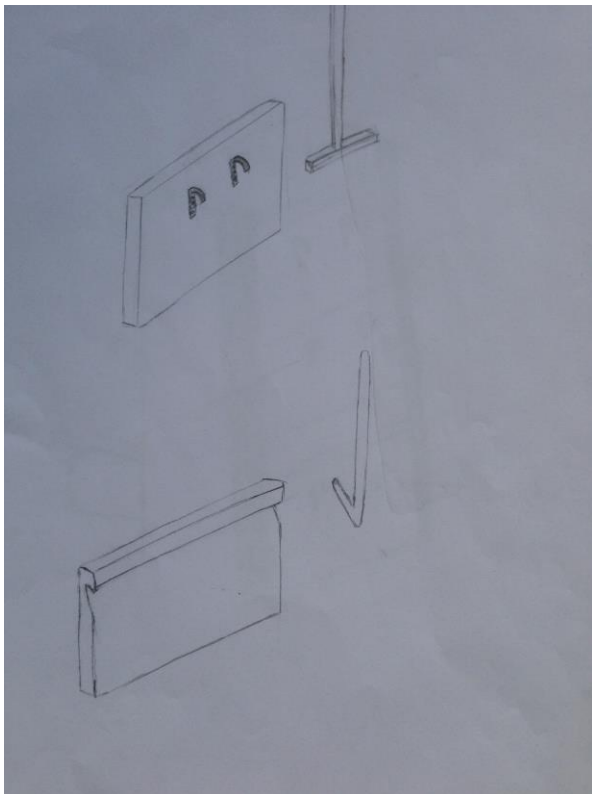
Figur 1. Koncept 1.

Koncept 2

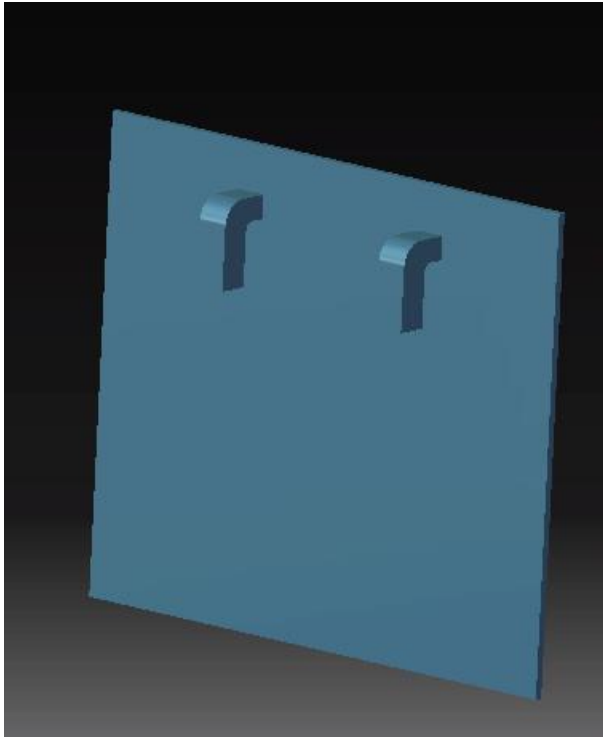
Koncept 2 i figur 2 är en vidareutveckling av dagens nivåregleringsbrunn som justeras med hjälp av brädor som bildar en vägg. I koncept 2 är tanken att användaren skall slippa att behöva plocka i/ur brädor för att justera nivån. Istället skall användaren kunna dra isär plastskivor för kunna bilda en glipa enligt figur 2 där användaren vill ha nivån. Efter att skivorna har dragits isär och en glipa har erhållits på önskad nivå så skall det vara möjligt att låsa fast skivorna på denna nivå. Figur 3, 4 och 5 visar olika koncept på verktyg och plastskivors utformning med krokar eller avfasning.



Figur 2. Koncept 2.



Figur 3. Olika varianter av verktyg och brädor med krok alternativt en "avfasning".



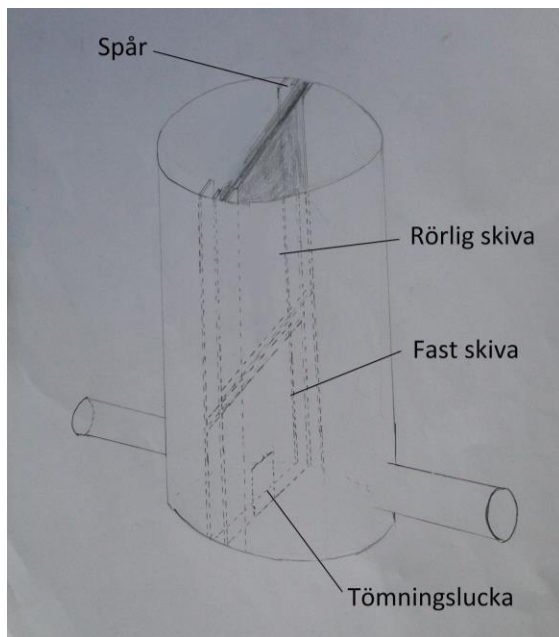
Figur 4. CAD-modell, skiva med krok.



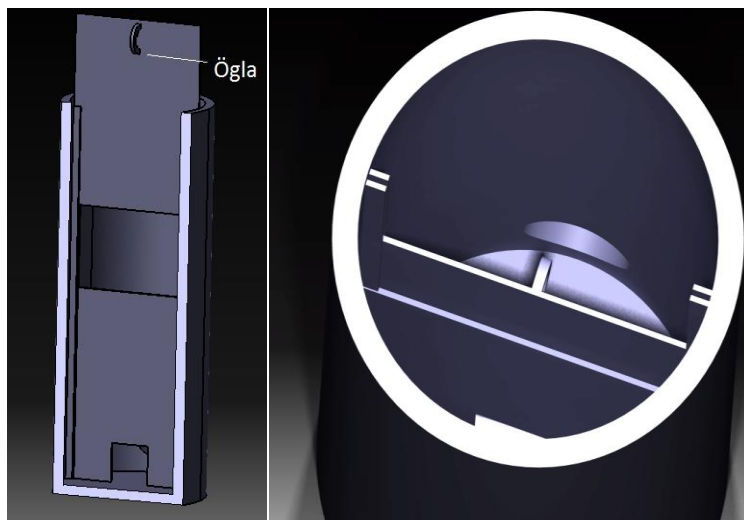
Figur 5. CAD-modell på verktyg till skiva i figur 4.

Koncept 3

Koncept 3 som visas i figur 6 och 7 är en helt annorlunda lösning än de tidigare koncepten. Brunnen ser ut som en typisk variant som justeras med brädor men skillnaden är att skiljeväggen som justerar nivån består av två plastskivor. Den ena är fastsvetsad i botten och den andra är justerbar i vertikalled. Genom att dra i den rörliga plastskivan går det att justera vattennivån efter behov. Konceptet har även en form av tömningslucka som är monterad på den fastsvetsade skivan som ger möjligheten att tömma dammen vid behov. Koncept 3 är justerbar från halva brunnens djup och uppåt. Den rörliga plastskivan justeras med hjälp av en "öglä" med en kedja eller liknande.



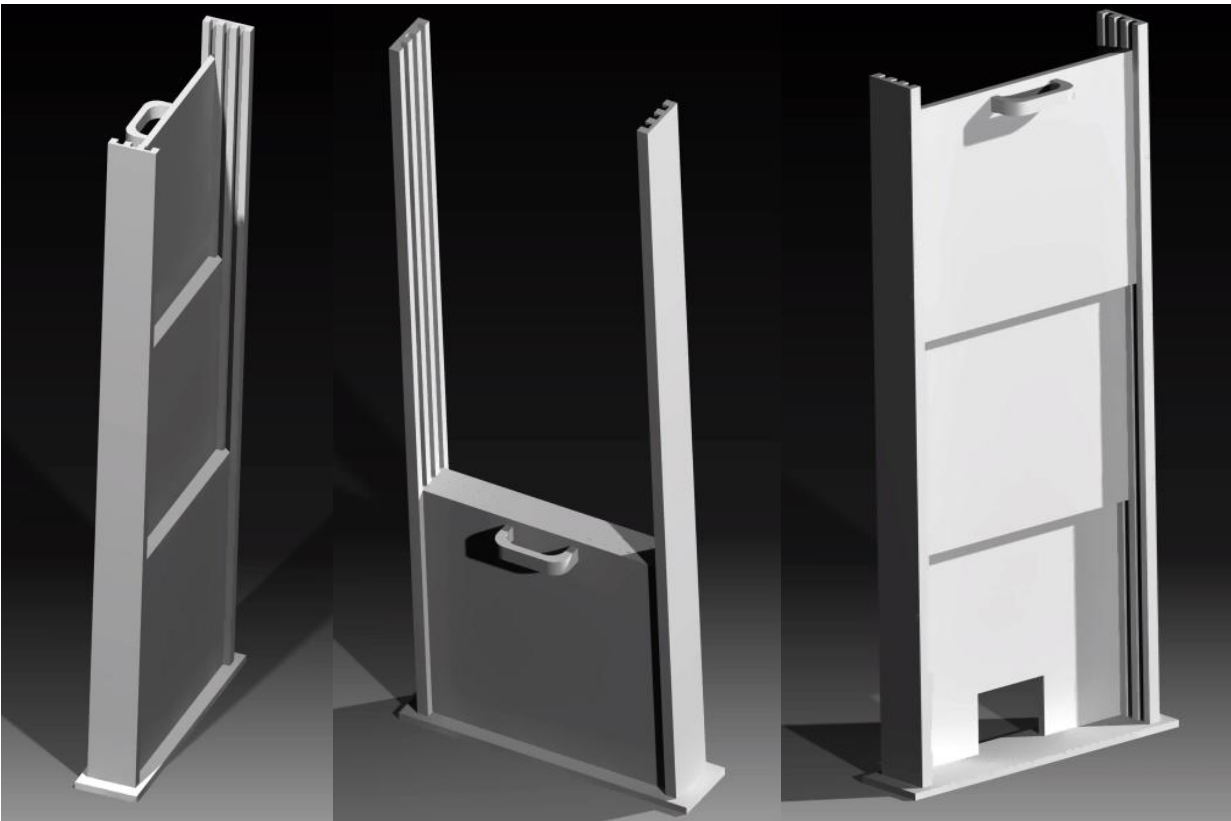
Figur 6. Koncept 3.



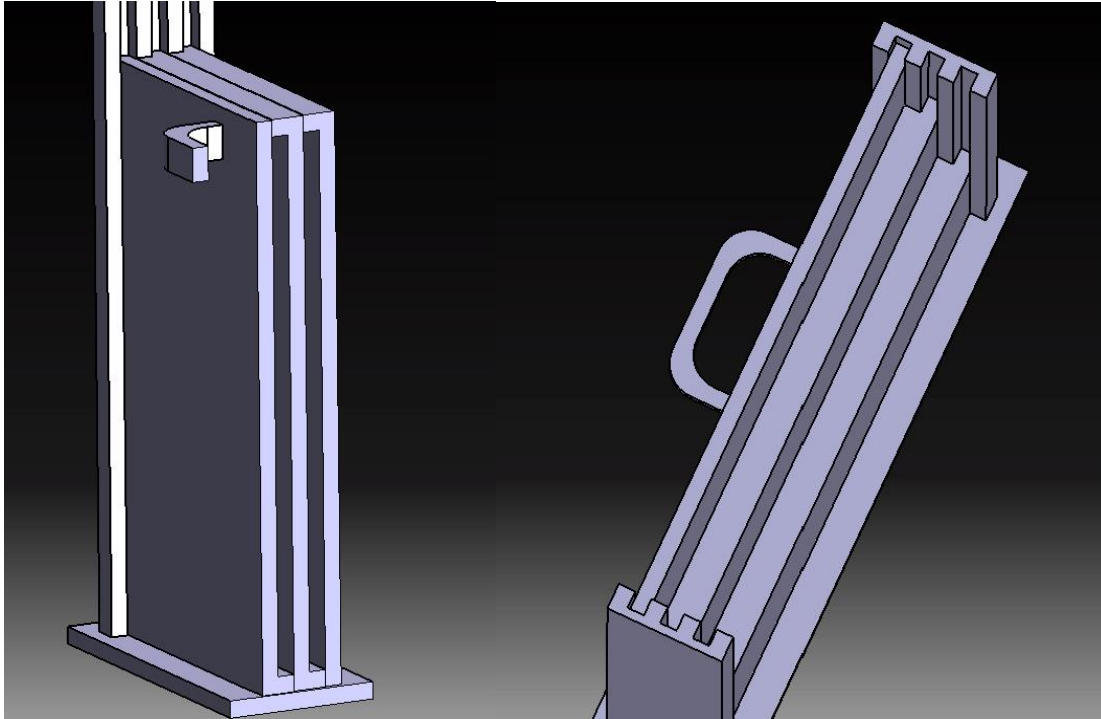
Figur 7. CAD-modell av koncept 3.

Koncept 4

Koncept 4 visas i figur 8 och 9. Figurerna visar enbart justeringsväggen. Konceptet är en vidareutveckling av koncept 3. Konceptet består av 3 rörliga skivor. Detta medför att nivån kan justeras från en tredjedel av brunnens djup och uppåt, till skillnad från koncept 3 som bara kunde justeras från halva brunnens djup och uppåt. Koncept 4 kan även göras med fler skivor för att få ännu större justeringsmöjligheter av vattennivån. Genom att dra i den yttersta skivan med öglan så följer resten av skivorna med. Detta möjliggörs med de flänsar, enligt figur 9, som skivorna är försedda med. Konceptet möjliggör en tömning av dammen genom att antingen lyfta samtliga 3 skivor högst upp alternativt svetsa fast den lägsta skivan utformad med en tömningslucka.



Figur 8. CAD-modell på koncept 4, toppläge och bottenläge.

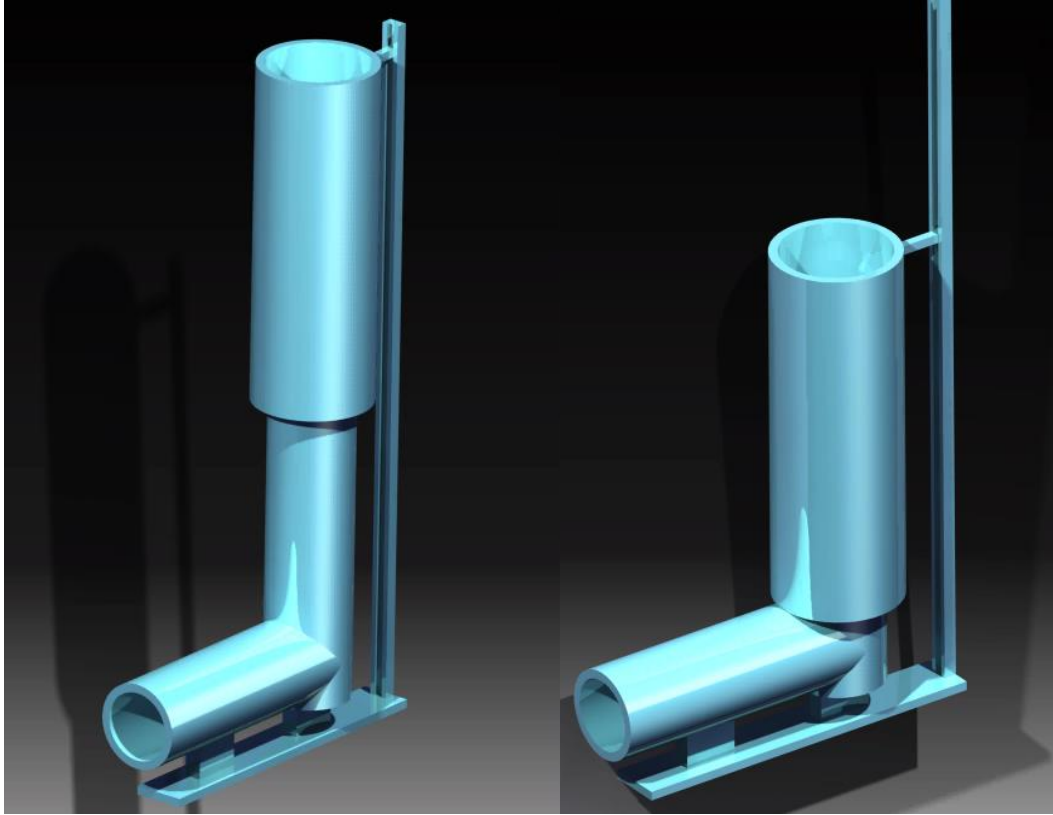


Figur 9. CAD-modell, snitt genom skivorna i koncept 4.

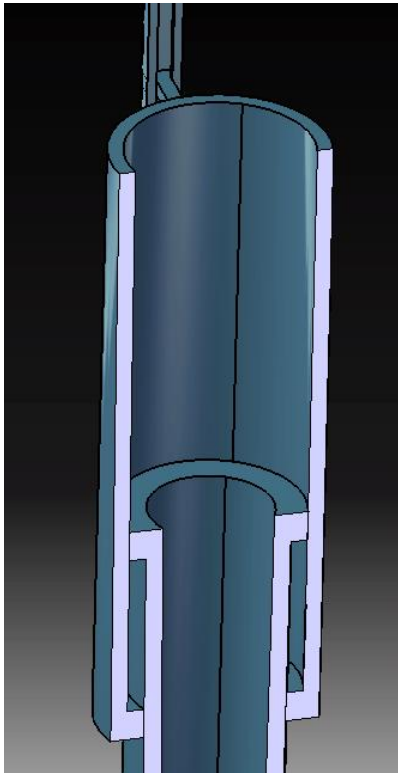
Koncept 5

Koncept 5 är ett koncept baserat på rörmunksprincipen och visas i figur 10 där brunnen har utelämnats. Det yttersta röret är justerbart i vertikalled. Uppbyggnaden av rören i detta koncept har liknande konstruktion som i koncept 4, d.v.s. rören är försedda med flänsar som hakar i varandra enligt figur 11. Konceptet har också ett vertikalt stödspår för att öka styvheten på konstruktionen. Figureerna visar enbart ett justerbart rör i vertikalled men det är möjligt att lägga till flera rör som är justerbara i vertikalled för att öka justeringsmöjligheten.

I likhet med koncept 3 och 4 så sker justeringen genom att dra i det yttersta röret i en ögla eller liknande. Genom att dra i det yttersta röret kommer även de övriga justerbara rören följa med via flänsarna som rören är försedda med.



Figur 10. CAD-modell på koncept 5, topläge respektive bottenläge.



Figur 11. CAD-modell, snitt genom rören i koncept 5.

Konceptgenerering av brunnslock

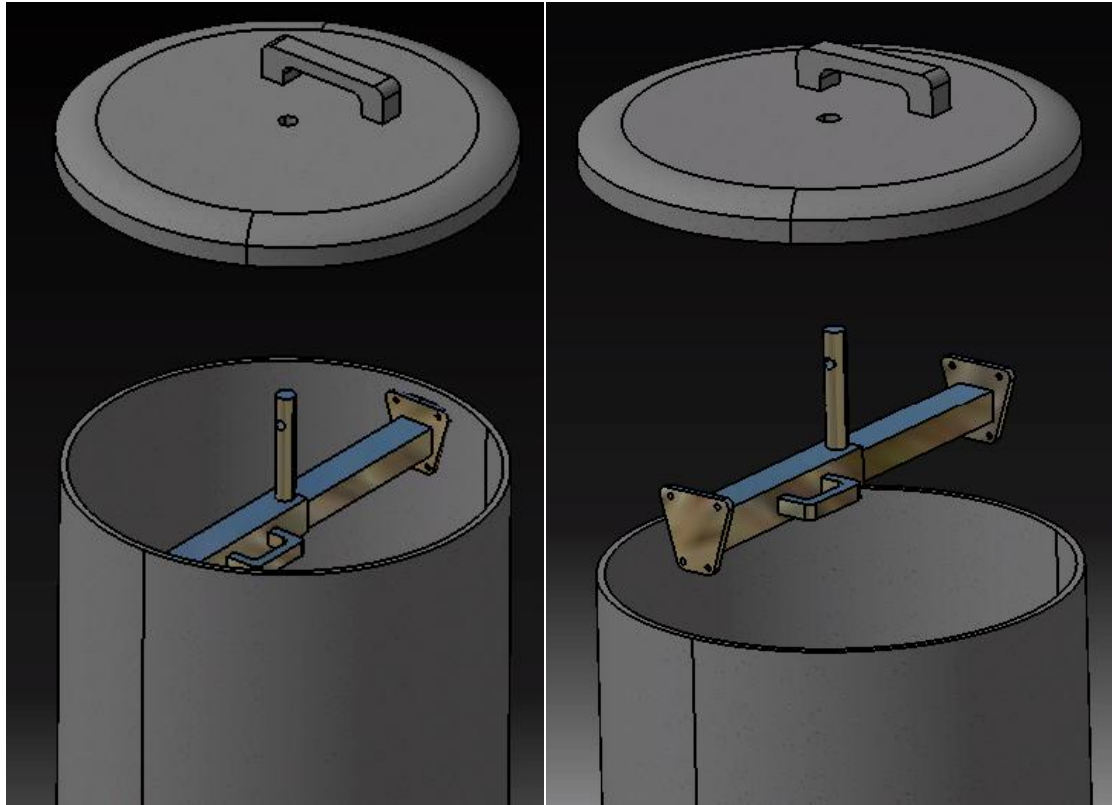
Koncept brunnslock 1

På grund av konstruktionen hos koncept 3, 4 och 5 ovan krävs en speciell fästanordning och lock. Utifrån marknadsundersökningar och fältbesök som inspiration gjordes det ett koncept på ett låsbart lock inklusive en fästanordning som skall ha till uppgift att både hålla fast locket och hålla upp väggen i koncept 3 och 4 samt röret i koncept 5 vid en bestämd nivå.

Locket är försett med ett handtag som skall hjälpa användaren att greppa locket vid lyft på ett smidigt sätt, se figur 12. Utöver detta har locket ett hål i mitten där en stång går igenom. Denna låsningsanordning är väldigt lik det som hittades i marknadsundersökningen av dagens utbud. Fästanordningen är också en vidareutvecklad variant av vad som fanns på internet. Skillnaden mellan dagens utbud och detta koncept är att stången inte är gängad utan stången har ett hål för hänglås. En ytterligare skillnad är att fästanordningen har en ögla enligt figur 13 för att t.ex. kunna fästa en spärrhake som används för att låsa fast en lyftkedja på en bestämd nivå.



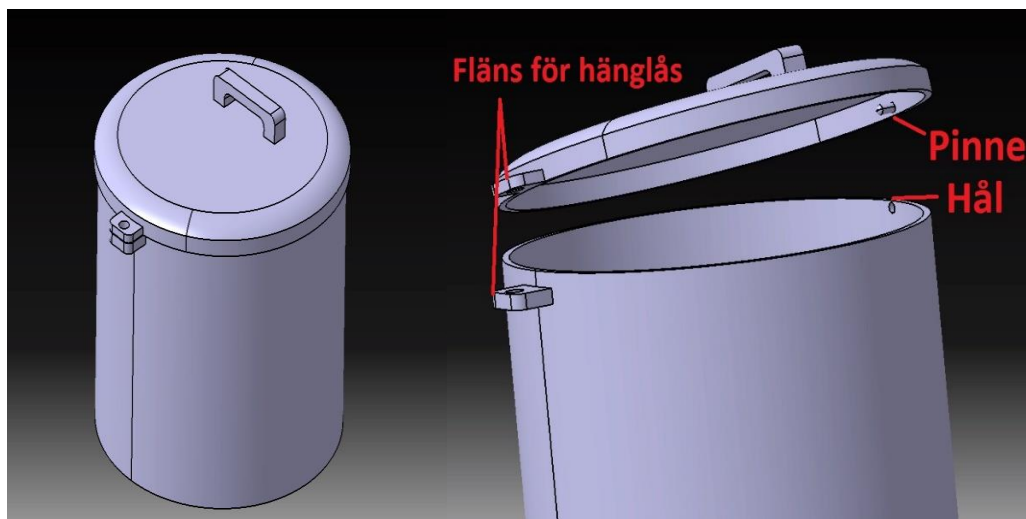
Figur 12. CAD-modell på koncept brunnslock 1.



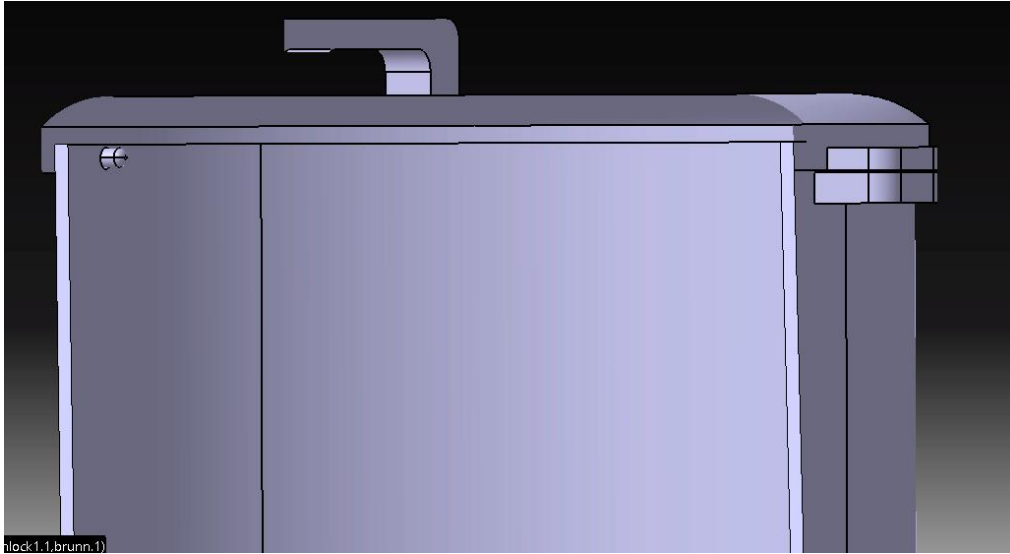
Figur 13. CAD-modell på koncept brunnslock 1 och fästordning.

Koncept brunnslock 2

Koncept 2, se figur 14 och 15, är ett lock som passar alla brunnar. Brunnslocket har en pinne som skall passa in i ett hål i brunns väggen. För att stänga locket skall pinnen först föras in i hålet för att sedan stängas. Tvärsöver pinnen sitter en ögla på både locket och brunnen som ger möjligheten att låsa locket med t.ex. ett hänglås.



Figur 14. CAD-modell på koncept brunnslock 2.



Figur 15. CAD-modell på koncept brunnslock 2 och brunnskropp.

Bilaga D – Utvärdering koncept

Beteckningar

Följande beteckningar användes för önskemålen och kraven:

Önskemål A = Billig (att producera och slutpris) alternativt prisvärd.

Önskemål B = Lätt att justera nivån.

Önskemål C = Lätt att låsa locket.

Önskemål D = Undvika för stort utloppsflöde (pga. jorderosion).

Önskemål E = Slät utsida.

Önskemål F = Uppfylla någon form av täthetskrav i själva munken mellan plankorna/skivorna.

Önskemål G = Så stor flexibilitet som möjligt i höjdjustering.

Önskemål H = Så stor flexibilitet som möjligt i anslutande rördimension.

Önskemål I = Tömningsventil/lucka som ger möjligheten att tömma dammen.

Önskemål J = Ett standardsortiment med begränsat antal varianter.

Önskemål K = Lätt att öppna och stänga locket.

Önskemål L = Säker justering, får inte fela.

Krav A = Justerbar vattennivå med 50 cm.

Krav B = Materialet skall vara det Uponor själva tillverkar.

Krav C = I förekommande fall tåla rådande grundvattentryck.

Krav D = Låsbart lock.

Följande beteckningar användes för helhetskoncepten (nivåjustering inklusive lock):

Koncept 1.2 = Koncept 1 med koncept brunnslock 2

Koncept 2.2 = Koncept 2 med koncept brunnslock 2

Koncept 3.1 = Koncept 3 med koncept brunnslock 1.

Koncept 3.2 = Koncept 3 med koncept brunnslock 2.

Koncept 4.1 = Koncept 4 med koncept brunnslock 1.

Koncept 4.2 = Koncept 4 med koncept brunnslock 2.

Koncept 5.1 = Koncept 5 med koncept brunnslock 1.

Koncept 5.2 = Koncept 5 med koncept brunnslock 2.

Elimineringsmatris

Koncept 1.2 och 2.2 eliminerades, se nedan.

Elimineringsmatris						
Lösning	Löser huvudproblemen	Uppfyller alla krav	Realiserbar	Passar företaget	Elimineringskriterier:	
					Beslut:	
					(+) Ja (-) Nej (?) Mer info krävs (+) Fullfölj lösning (-) Eliminera lösning (?) Sök mer info	
					Kommentar	Beslut
1.2	-				Svårt/omöjligt att hitta lämpligt flexrör	-
2.2	+	-			Svårt att få till en bra och säker justering	-
3.1	+	+	+	+		+
3.2	+	+	+	+		+
4.1	+	+	+	+		+
4.2	+	+	+	+		+
5.1	+	+	+	+		+
5.2	+	+	+	+		+

Viktbestämningsmatris

Kriterium	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Sum	Sum/Totalt	Skala 1-5
Önskemål A	/	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	8	0,12	4
Önskemål B	0,5	/	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	6	0,09	3
Önskemål C	0	0	/	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	4,5	0,07	3
Önskemål D	0	0	0	/	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,01	0
Önskemål E	0	0	0	0,5	/	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,01	0
Önskemål F	0,5	0,5	0,5	1	1	/	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	5,5	0,08	3
Önskemål G	0	0,5	0,5	1	1	0,5	/	0,5	0,5	0,5	1	0,5	6,5	0,10	4
Önskemål H	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	/	0,5	0,5	1	0,5	7	0,11	4

	5	5	5			5	5		5	5					
Önskemål I	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	/	0	0,5	0	5,5	0,08	3
Önskemål J	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	/	1	0,5	9	0,14	5
Önskemål K	0	0,5	0,5	1	1	0,5	0	0	0,5	0	/	0	4	0,06	2
Önskemål L	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1	/	9	0,14	5
													To		
													t	66	

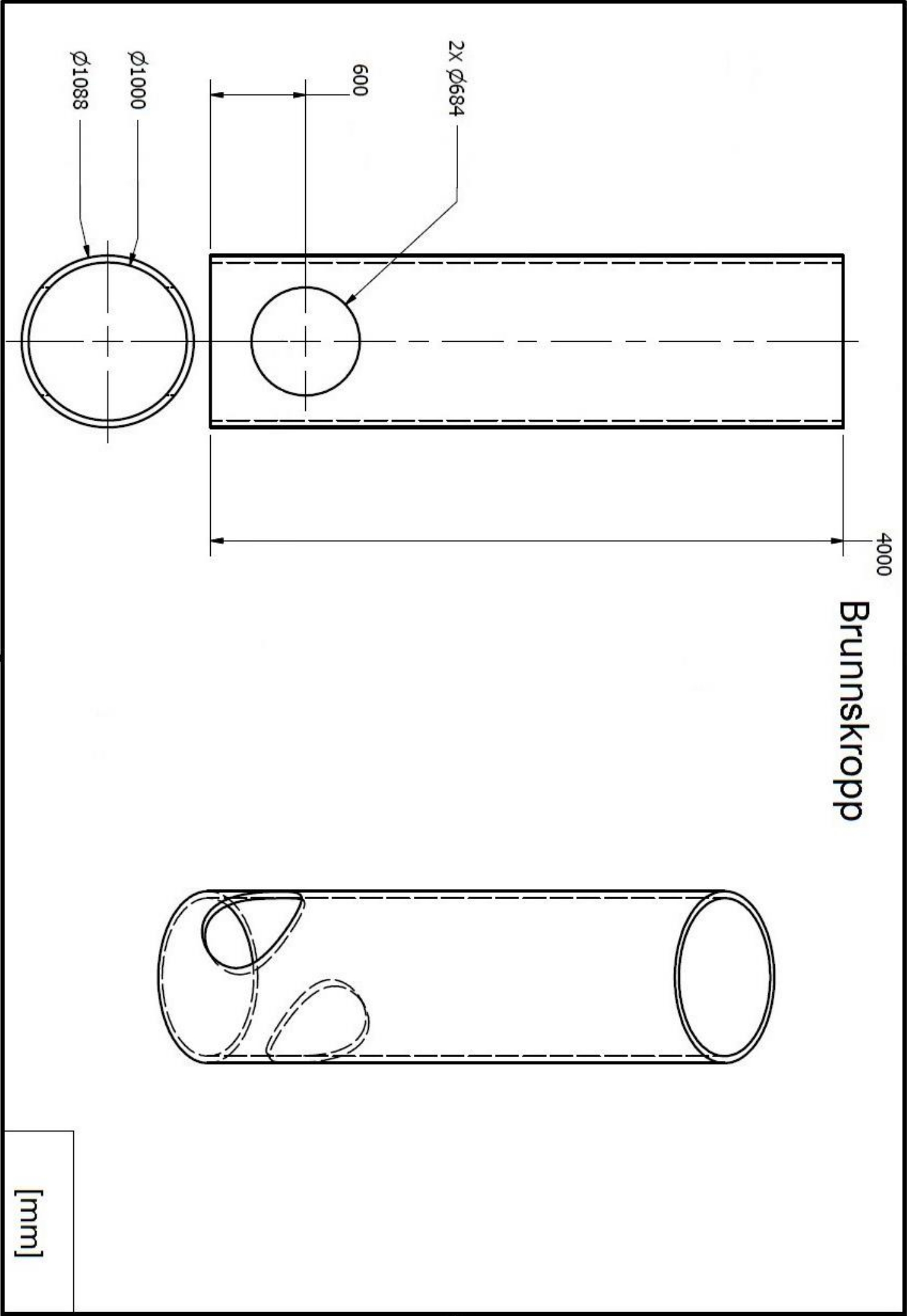
Pughmatrix

Kriterium	Alternativ	Koncept					
	Referenslösning	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Önskemål A (vikt = 4)		+	+	-	-	-	-
Önskemål B (vikt = 3)		+	+	+	+	+	+
Önskemål C (vikt = 3)		+	+	+	+	+	+
Önskemål D (vikt = 0)		0	0	0	0	0	0
Önskemål E (vikt = 0)		0	0	0	0	0	0
Önskemål F (vikt = 3)		0	0	0	0	0	0
Önskemål G (vikt = 4)		-	-	-	-	-	-
Önskemål H (vikt = 4)		0	0	0	0	0	0
Önskemål I (vikt = 3)		+	+	+	+	-	-
Önskemål J (vikt = 5)		0	0	0	0	0	0
Önskemål K (vikt = 2)		+	-	+	-	+	-
Önskemål L (vikt = 5)		0	0	0	0	-	-
Krav A (vikt = 5)		+	+	+	+	+	+
Krav B (vikt = 5)		0	0	0	0	0	0
Krav C (vikt = 5)		0	0	0	0	0	0
Krav D (vikt = 5)		0	0	0	0	0	0
Summa		16	9	8	4	-3	-7
Rangordning		1	2	3	4	5	6
Vidareutveckling		Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej

Slutsats från Pughmatrix

Koncept 3.1 blev det vinnande konceptet i Pughmatrisen och konceptet valdes även av Uponor.

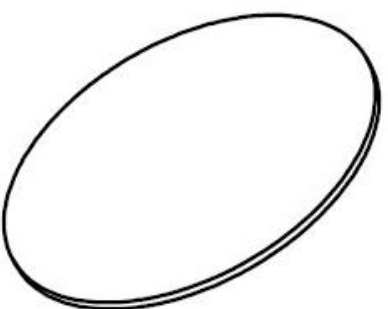
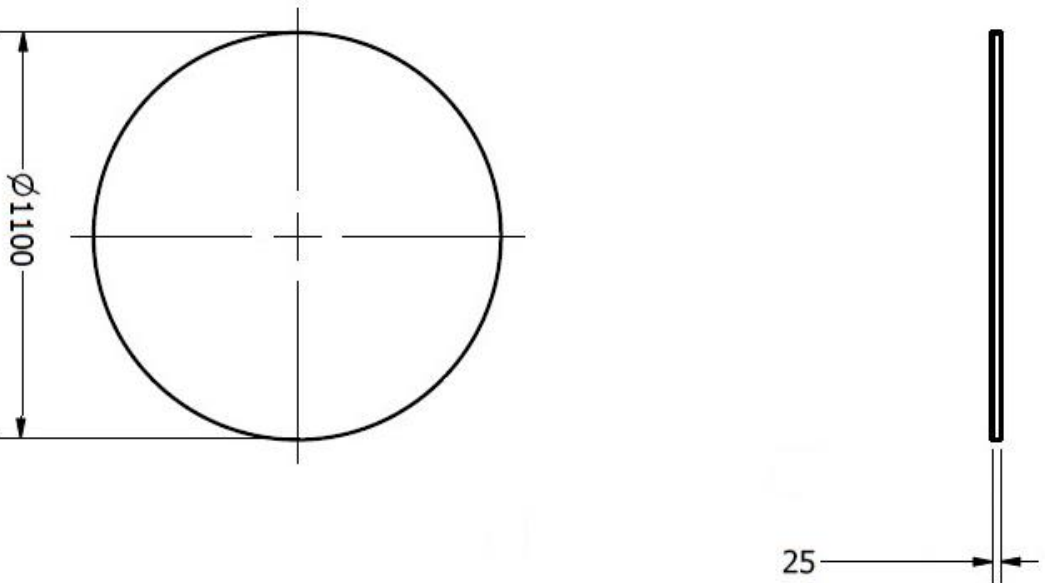
Bilaga E – Ritning på brunns kropp



[mm]

Bilaga F – Ritning på bottenplatta

Bottenplatta



[mm]

Bilaga G – FEM-modellering av bottenplatta

För ytterligare information och teori om FEM-modellering, se kapitel 2.3.

Materialdata

Materialvalet för bottenplattan är PE (polyeten). Enligt P-A. Solar (personlig kommunikation, 29 april 2015) har materialet följande data:

$$\begin{aligned}E - modul &= 300 \text{ MPa} \\ \sigma_s &= 25 \text{ MPa} \\ \rho &= 955 \text{ kg/m}^3 \text{ (densitet)}\end{aligned}$$

Dimensioner

Se bilaga F.

FEM-modellering

Vid FEM-modelleringen användes CATIA. Brunnens vattennivå kommer aldrig att nå upp till brunnens topp eftersom den rörliga skivan aldrig når upp hela vägen, vilket innebär att högsta vattennivån kommer att hamna strax under 4 meter. Vid FEM-modelleringen dimensionerades bottenplattan för att klara av vattentrycket som uppkommer vid 4 meters vattenhöjd för att erhålla en säkerhetsmarginal.

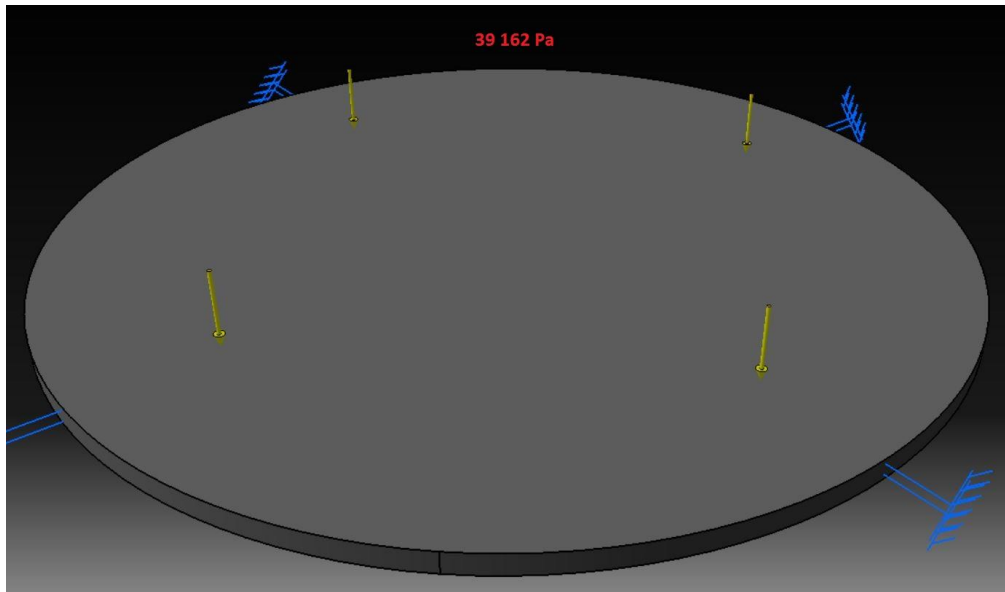
Bottenplattan antas ha en rigid infästning i yttre kanten. I FEM-modelleringen bortses stötningen från jorden på bottenplattan. Siffrorna som fås fram i FEM-modelleringen är inte hundra procent verklighetstroga utan skall ses som en uppskattning. Siffrorna ger en vägledande uppfattning om vilka dimensioner som skall användas.

Vattentrycket

Vattentrycket p på 4 meters djup beräknas enligt ekvation 1.

$$\begin{aligned}p &= \rho \times g \times h \\ \rho &= 998 \text{ kg/m}^3 \text{ (vattnets densitet)} \\ g &= 9,81 \text{ N/kg} \\ h &= 4 \text{ meter (vattnets höjd)} \\ p &= 998 \times 9,81 \times 4 = 39\,162 \text{ N/m}^2\end{aligned}\tag{1}$$

Bottenplattan kommer att utsättas för ett tryck på cirka 39 162 Pa och det är detta tryck som togs med i FEM-modelleringen. Se figur 1 för lastfallet.



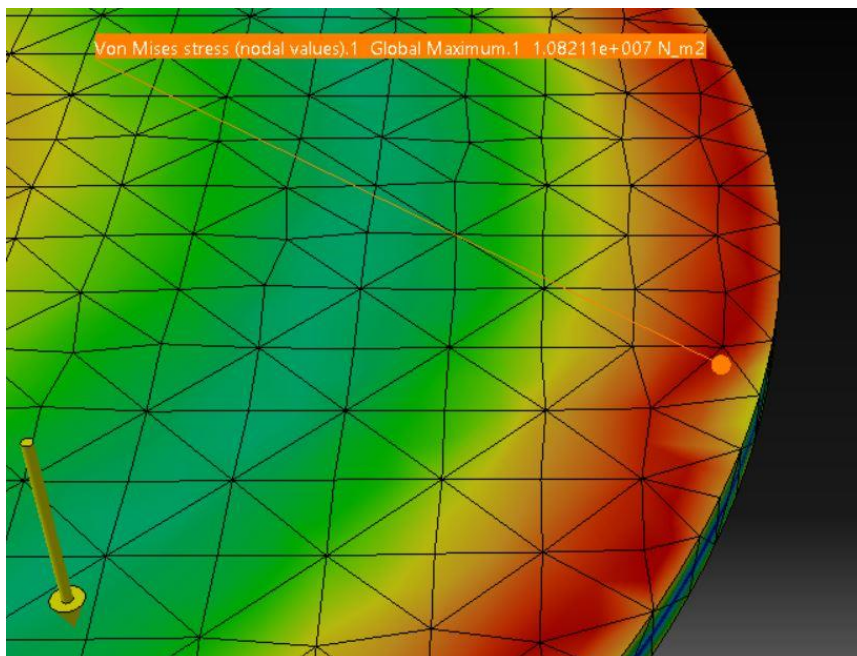
Figur 1. Vattentryck på bottenplattan.

Mesh och sag

I FEM-modelleringen användes ett mesh värde på 40 mm och ett sag värde på 2 mm.

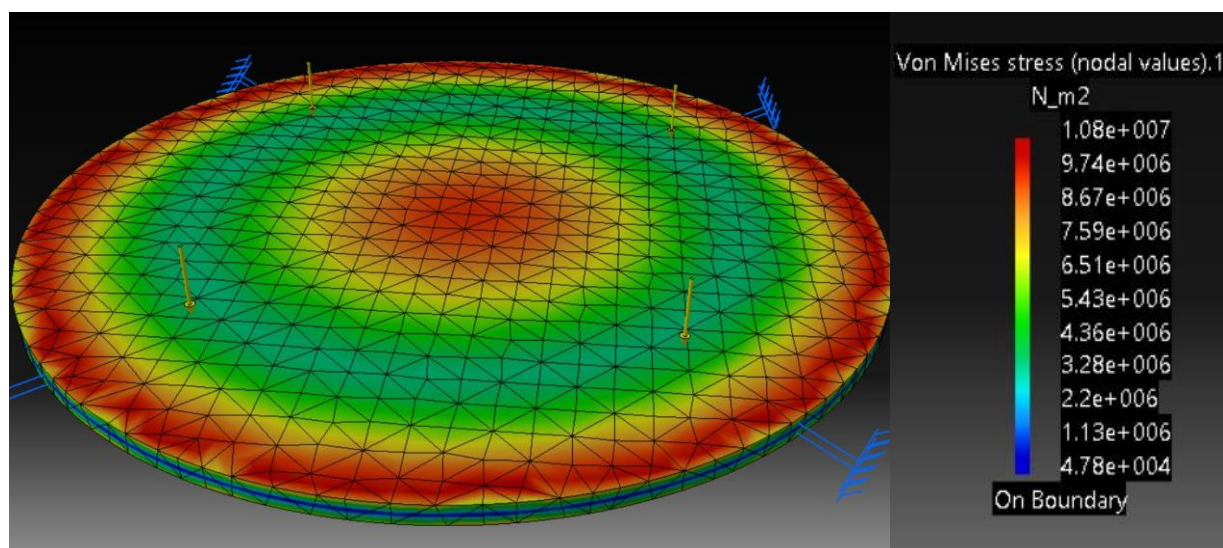
Von Mises

Den högsta effektivspänningen enligt von Mises blev 10,8 MPa vid bottenplattans infästningar/svetsar, se figur 2.



Figur 2. Högsta effektivspänningen belägen vid bottenplattans infästningar.

Figur 3 visar spänningsfördelningen på hela bottenplattan.

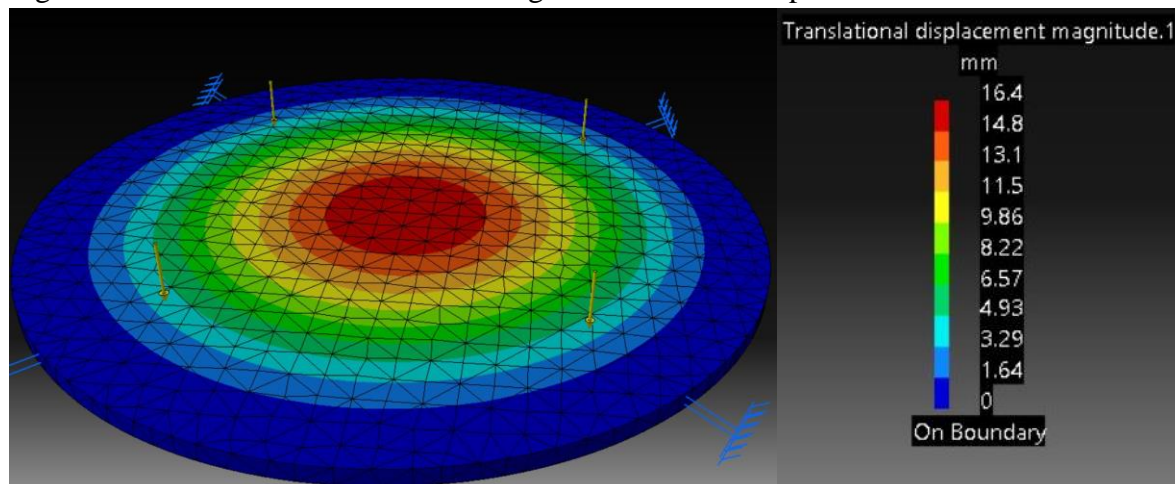


Figur 3. Spänningsfördelning över hela bottenplattan och dess värde med färgskala.

Slutsatsen är att bottenplattan klarar av det tryck som uppstår när vattennivån är 4 meter hög utan att plasticeras. Sträckgränsen för polyeten är cirka 25 MPa och den maximala uppnådda spänningen enligt FEM modelleringen ligger på cirka 11 MPa, vilket är mindre än hälften av sträckgränsen.

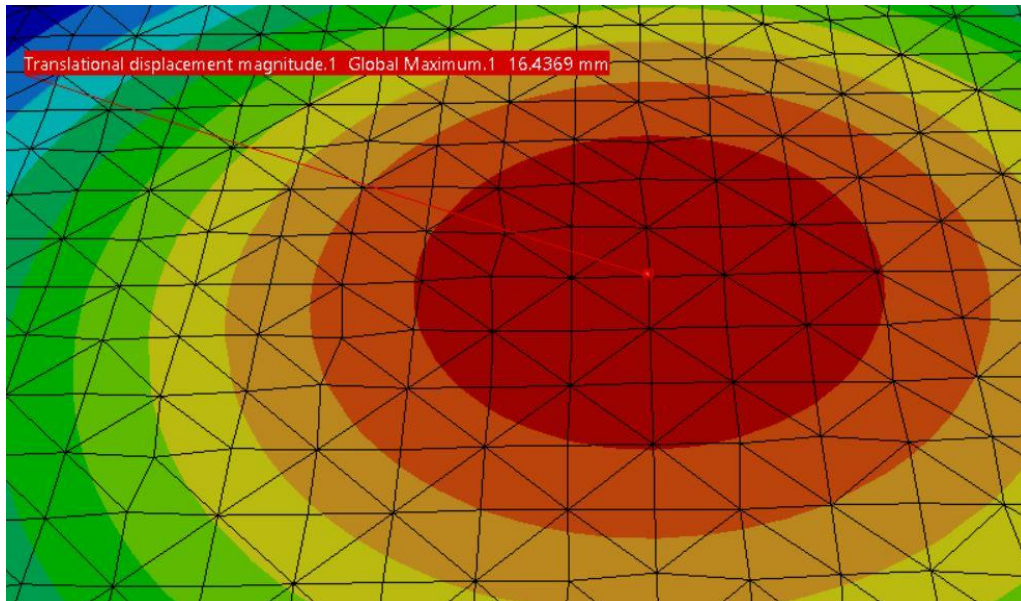
Deformationer

Figur 4 illustrerar deformationsfördelningen över hela bottenplattan.



Figur 4. Deformationsfördelning över hela bottenplattan och dess värde med färgskala.

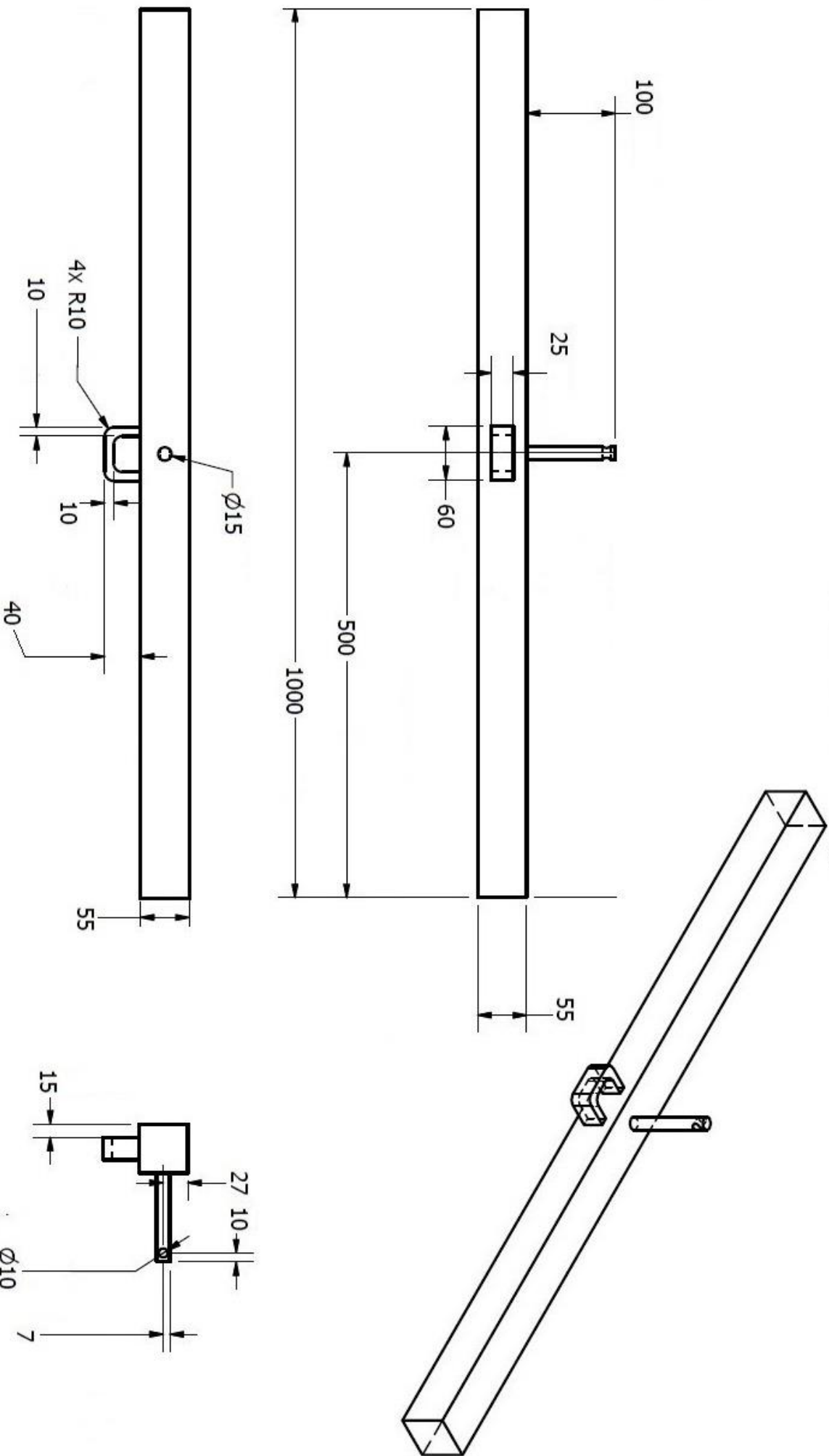
I figur 5 kan man se att den största deformationen blir cirka 16 mm i mitten av bottenplattan.



Figur 5. Största deformationszonen i mitten av bottenplattan.

Bilaga H – Ritning på fästordning

Fästordning



[mm]

Bilaga I – FEM-modellering av fästänordning

För ytterligare information och teori om FEM-modellering, se kapitel 2.3.

Materialdata

Materialvalet för fästänordningen är PE (polyeten). Enligt P-A. Solar (personlig kommunikation, 29 april 2015) har materialet följande data:

$$\begin{aligned}E - modul &= 300 \text{ MPa} \\ \sigma_s &= 25 \text{ MPa} \\ \rho &= 955 \text{ kg/m}^3 \text{ (densitet)}\end{aligned}$$

Dimensioner

Se bilaga H.

FEM-modellering

Vid FEM-modelleringen användes CATIA. Fästänordningen skall kunna hålla upp den justerbara skivans tyngd. På grund av den stora friktionskraften som uppträder i fallet när skivan glider direkt mot botten-skivan så kommer friktionskraften kunna hålla upp skivan när brunnen är i drift. Detta innebär att fästänordningen endast kommer att användas för låsning av locket eftersom friktionskraften håller fast den rörliga skivan.

Genom att minska friktionskraften (se kapitel 4.6.1) kan fästänordningen eventuellt få en bärande funktion. Vid FEM-modelleringen har friktionskraften försumrats och fästänordningen har belastats med hela rörliga skivans tyngd. Detta fall innebär att fästänordningen utsätts för den teoretiskt maximala tyngden. Genom att dimensionera fästänordningen på det här sättet erhålls en stor säkerhetsmarginal. Fästänordningen antas ha rigida infästningar till brunnen.

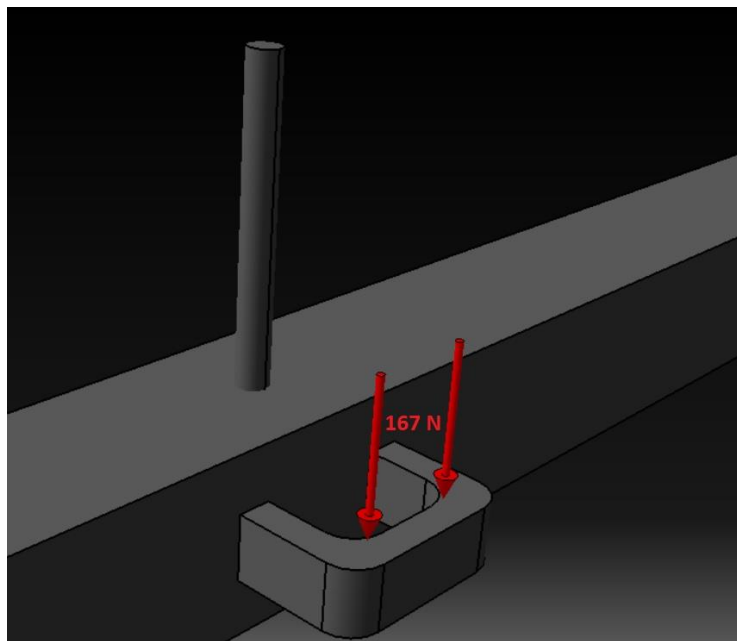
Siffrorna som fås fram i FEM-modelleringen är inte hundra procent verklighetstrogna utan skall ses som en uppskattning. Siffrorna ger en vägledande uppfattning om vilka dimensioner som skall användas

Skivans tyngd

Den rörliga skivan har måtten $1 \times 0,9 \times 0,02$ m. Skivans tyngd beräknas i ekvation 1.

$$\begin{aligned}m &= \rho \times V && (1) \\ \rho &= 955 \text{ kg/m}^3 \text{ (densiteten för polyeten)} \\ V &= 1 \times 0,9 \times 0,02 \text{ m}^3 = 0,018 \text{ m}^3 \\ m &= 955 \times 0,018 \text{ kg} = 17 \text{ kg} \\ \text{Tyngden} &= m \times g = 17 \times 9,81 \text{ N} = 167 \text{ N}\end{aligned}$$

Denna tyngd kommer att angripa på fästans ordningens ögla enligt figur 1 och är den last som användes vid FEM-modelleringen.



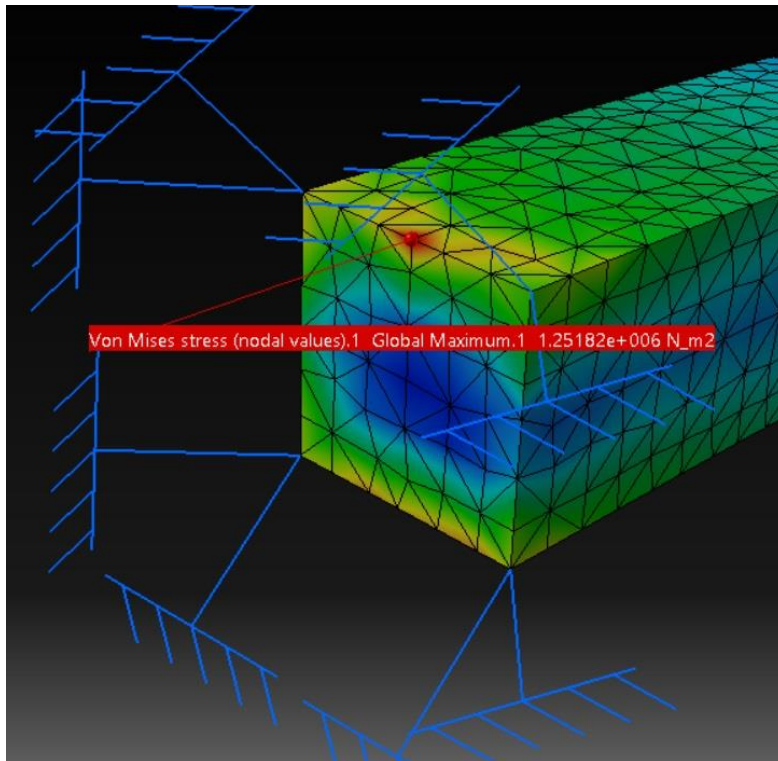
Figur 1. Kraft som angriper ögla i fästans ordning.

Mesh och sag

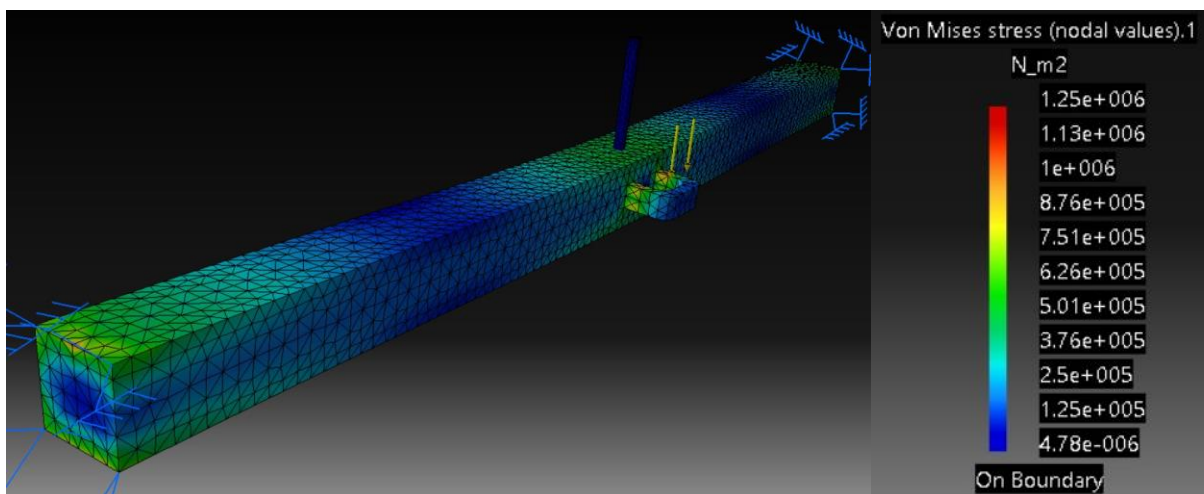
I FEM-modelleringen användes ett mesh värde på 10 mm och ett sag värde på 2 mm.

Von Mises

Den högsta effektivspänningen enligt Von Mises blev 1,25 MPa vid fästans ordningens infästningar/svetsar, se figur 2. Spänningsfördelningen över hela fästans ordning kan ses i figur 3.



Figur 2. Högsta effektivspänningen belägen vid fästnanordningens infästningar.

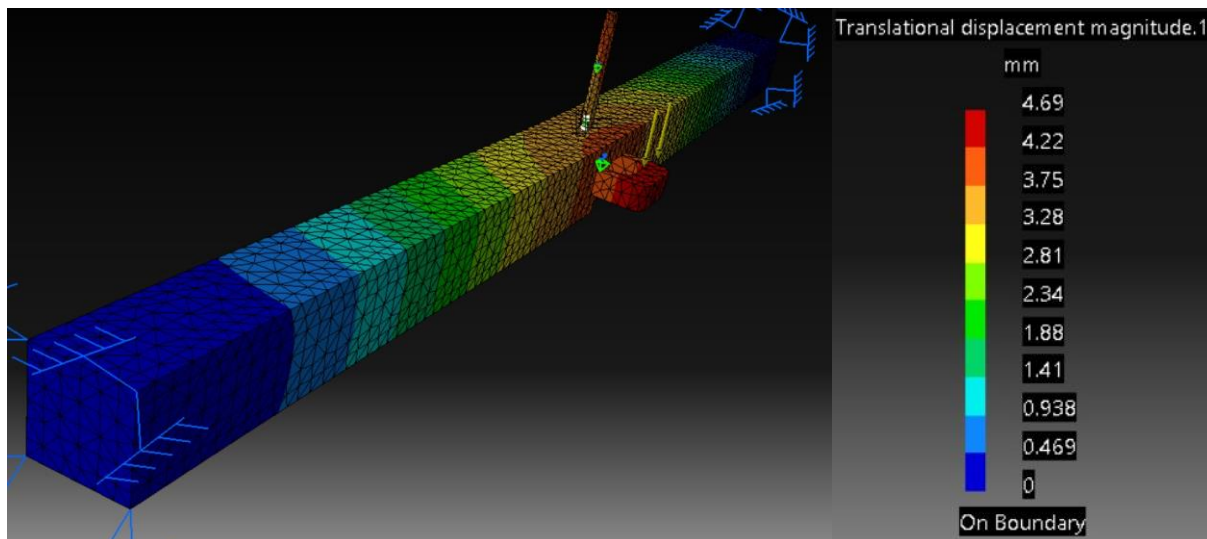


Figur 3. Spänningsfördelning över hela fästnanordningen och dess värde med färgskala.

Slutsatsen är att fästnanordningen klarar av den maximala belastningen från skivans hela tyngd utan att plasticeras. Sträckgränsen för polyeten är cirka 25 MPa och den maximala uppnådda spänningen enligt FEM modelleringen ligger på cirka 1,25 MPa, vilket är cirka 1/20 av sträckgränsen.

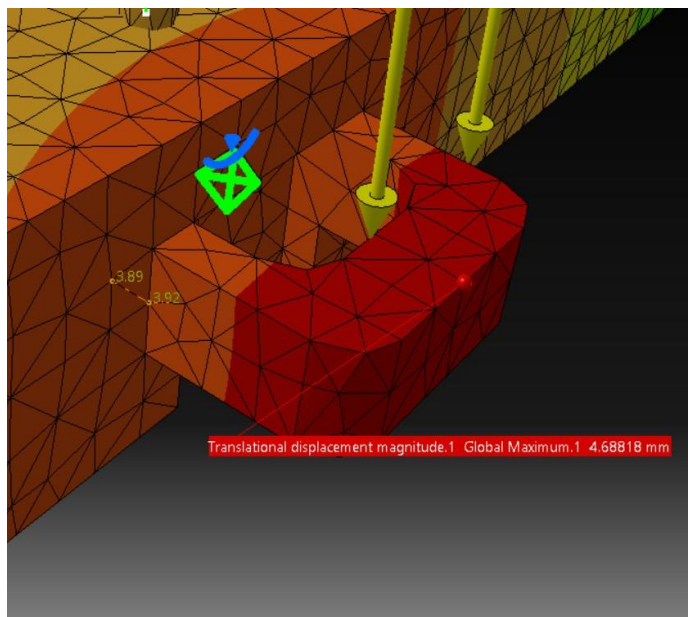
Deformationer

Eftersom den maximala uppkomna spänningen endast blev 1/20 av sträckgränsen så var inte detta kritiskt, utan fästansordningen dimensionerades efter de uppkomna elastiska deformationerna. Målet var att hamna under 5 mm deformation som max och detta klarades av med balkdimensionen 55x55 mm. Detta mål bedömdes vara rimligt för att bibehålla fästansordningens huvudfunktion. Deformationsfördelningen kan ses i figur 4.



Figur 4. Deformationsfördelning över hela fästansordningen och dess värde med färgskala.

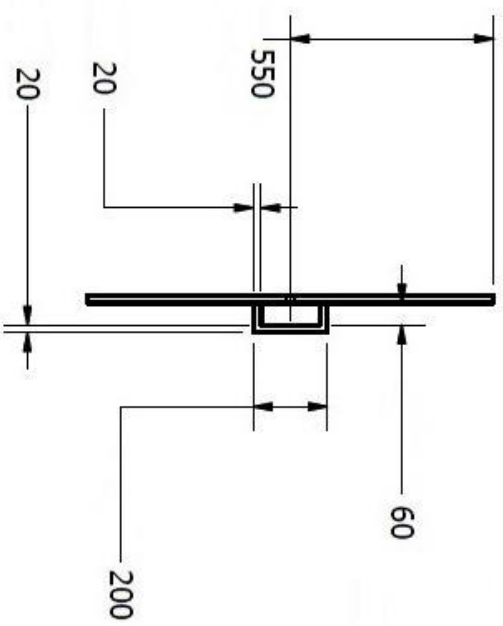
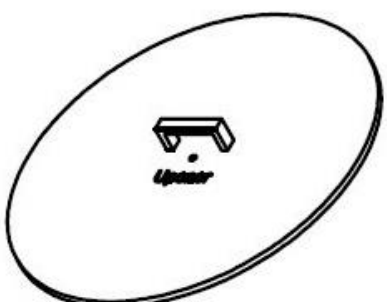
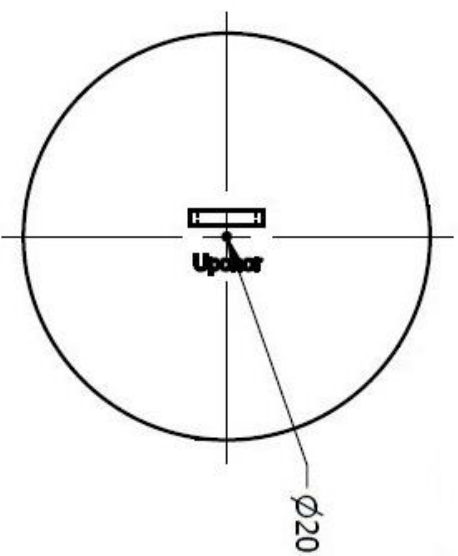
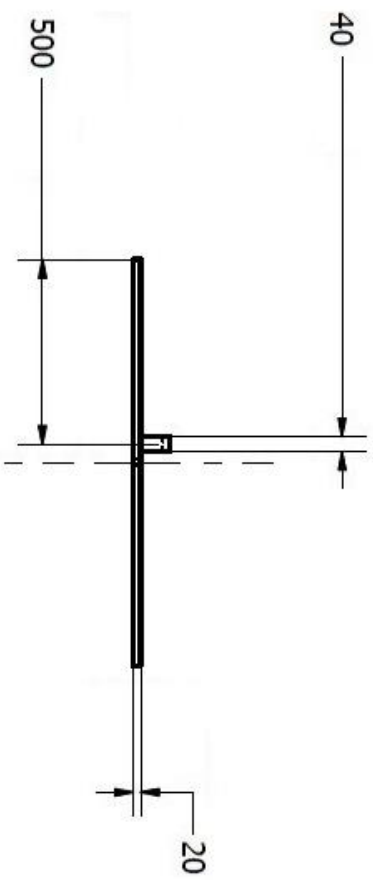
I figur 5 går det att tyda att den största deformationen inträffar vid kraftangreppspunkten, d.v.s. vid öglan.



Figur 5. Största deformationszonen.

Bilaga J – Ritning på brunnslock

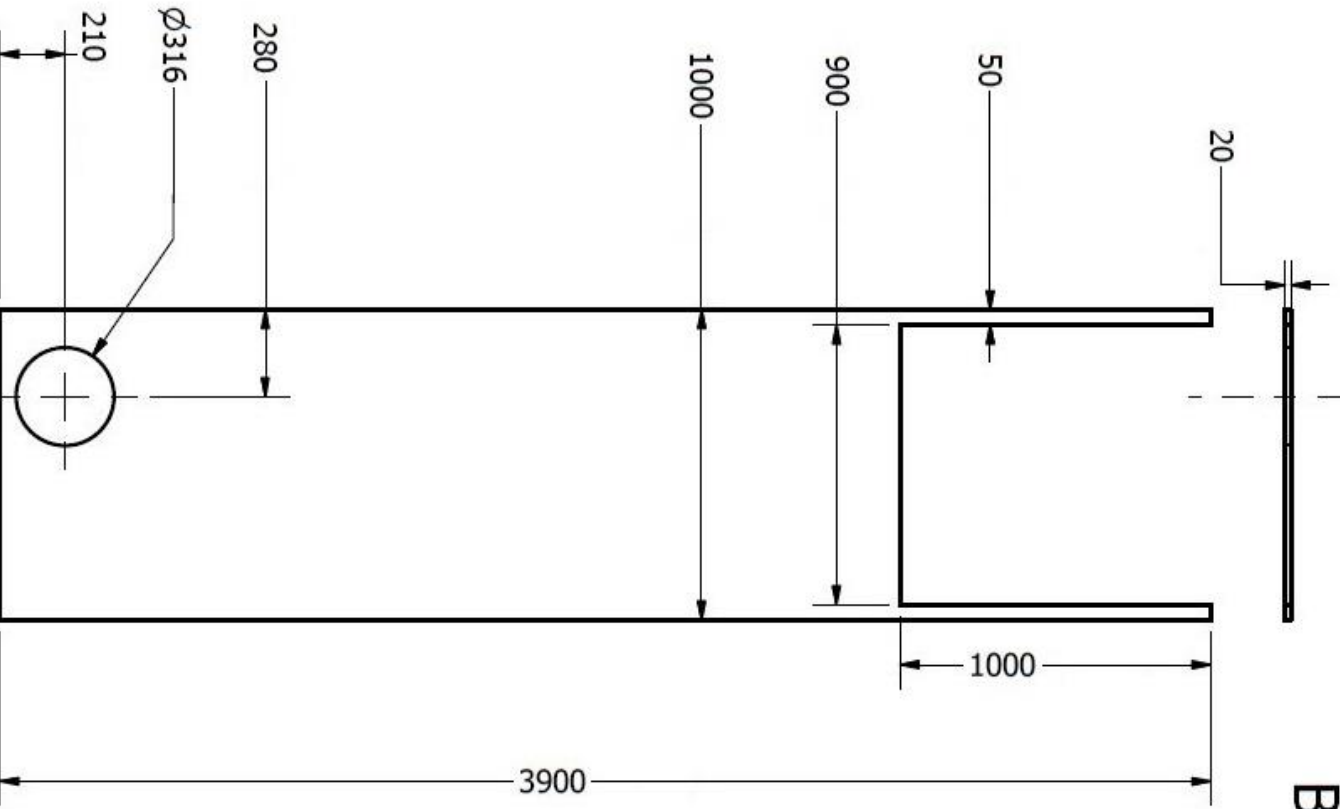
Brunnslock



[mm]

Bilaga K – Ritning på bottenskiiva

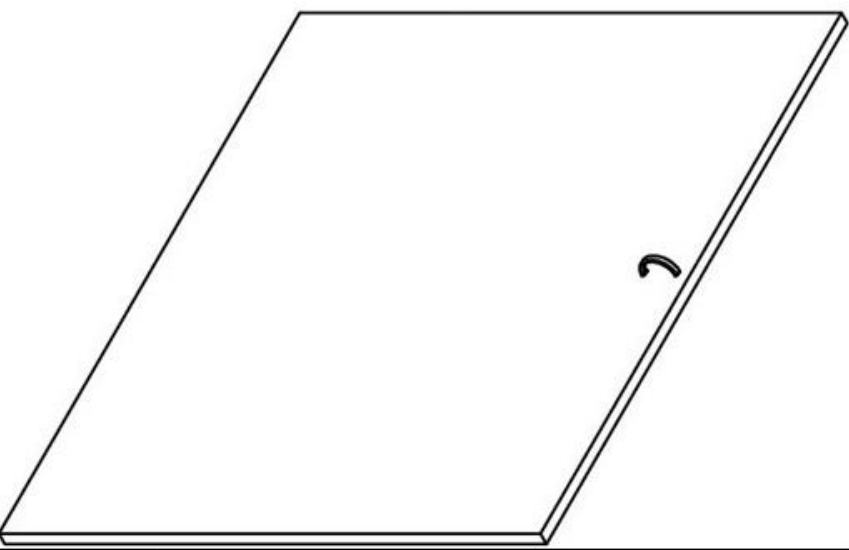
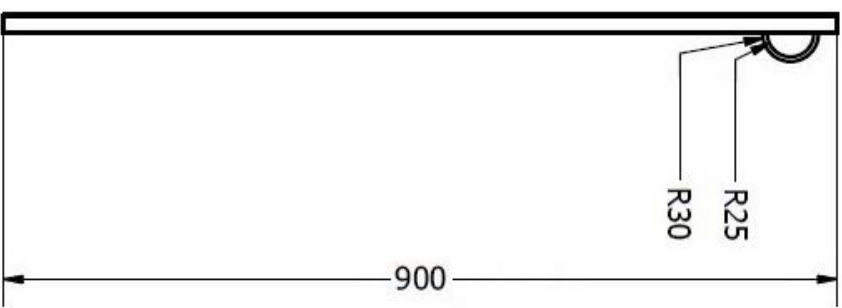
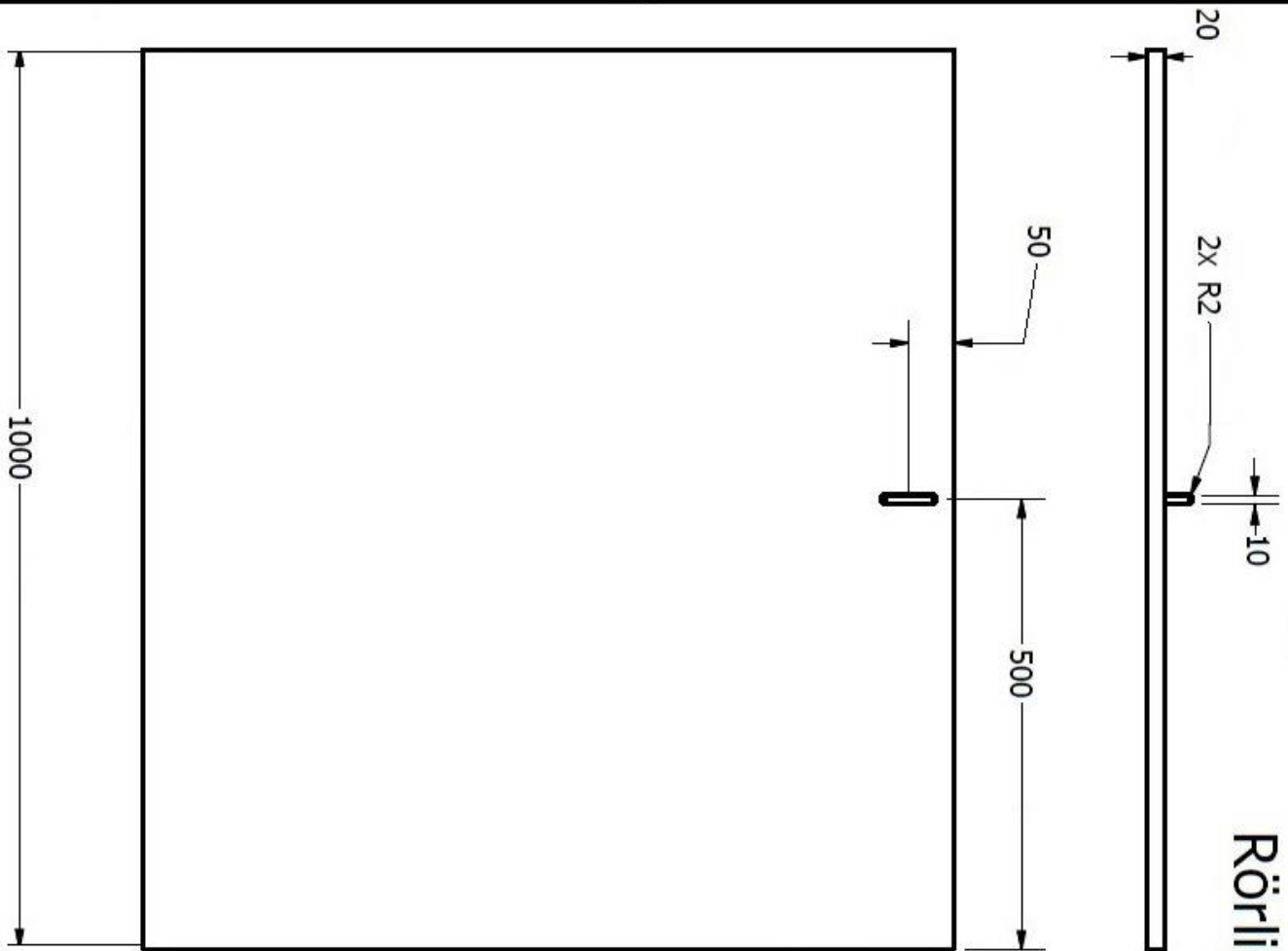
Bottenskiiva



[mm]

Bilaga L – Ritning på rörlig skiva

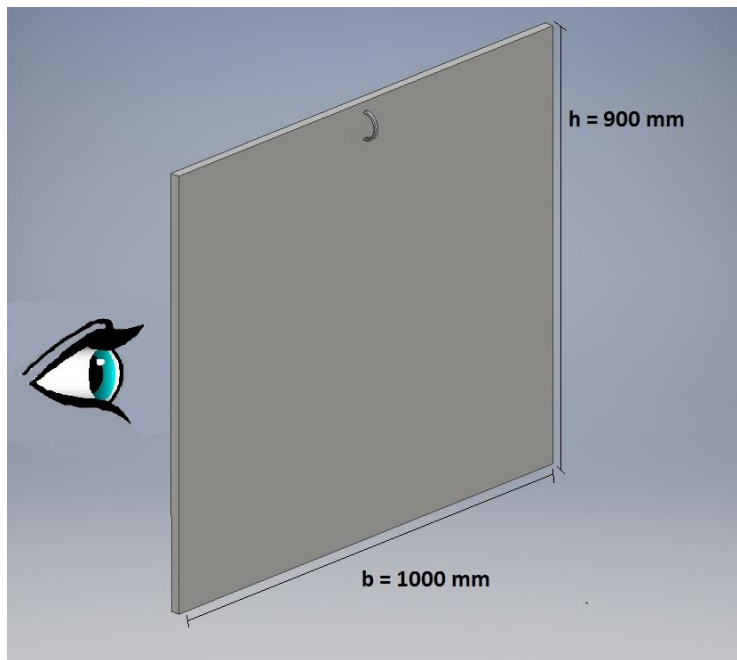
Rörlig skiva



[mm]

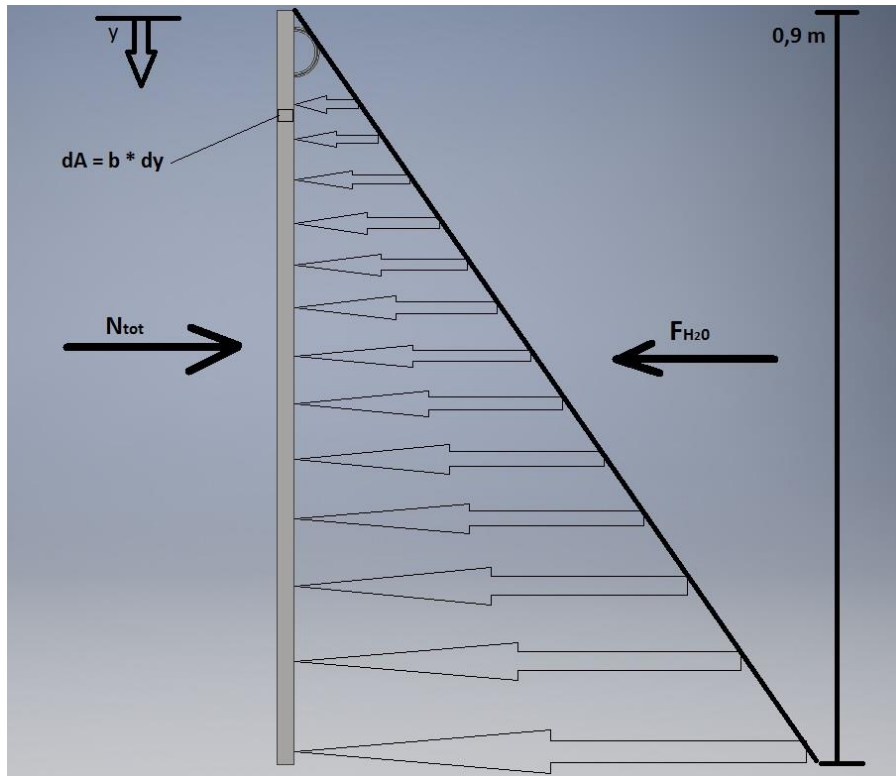
Bilaga M – Bestämning av friktionskraft på rörliga skivan

Genom att granska den rörliga skivan enligt figur 1 kan skivan studeras som en balk.



Figur 1. Rörliga skivan.

För att beräkna friktionskraften måste först normalkraften beräknas. Vi förutsätter att den rörliga skivan kommer att ligga an mot bottenskivan när brunnen är i drift. Se figur 2 för en illustration över frilägningen.



Figur 2. Friläggning av den rörliga skivan.

Vattentrycket är 0 högst upp på skivan för att sedan öka med djupet. F_{H_2O} är kraftresultanten från vattentrycket och N_{tot} är den totala normalkraften. I figur 2 har hänsyn inte tagits till krafternas exakta placering. Koordinaten y är en variabel som beskriver vattendjupet där nollpunkten befinner sig högst upp på skivan. Trycket p är en funktion av koordinaten y , d.v.s. $p = \rho \times g \times y$. Den horisontella jämvikten kan tecknas enligt ekvation 1.

$$\rightarrow: N_{tot} - F_{H_2O} = 0 \Leftrightarrow N_{tot} = F_{H_2O} \quad (1)$$

Ekvation 1 ger att den totala normalkraften är lika stor som kraftresultanten från vattentrycket. Storleken på vattentryckets kraftresultant och normalkraften fås via ekvation 2.

$$\begin{aligned} N_{tot} = F_{H_2O} &= \int_0^h (p(y) \times b) dy = \int_0^h (\rho \times g \times b \times y) dy = \\ &= \left| \frac{\rho \times g \times b \times y^2}{2} \right|_0^h = \frac{\rho \times g \times b \times h^2}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

där:

$$\rho = 998 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (vattnets densitet)}$$

$$g = 9,81 \text{ N/kg}$$

$$b = 1 \text{ meter (skivans bredd)}$$

$h = 0,9$ meter (skivans höjd)

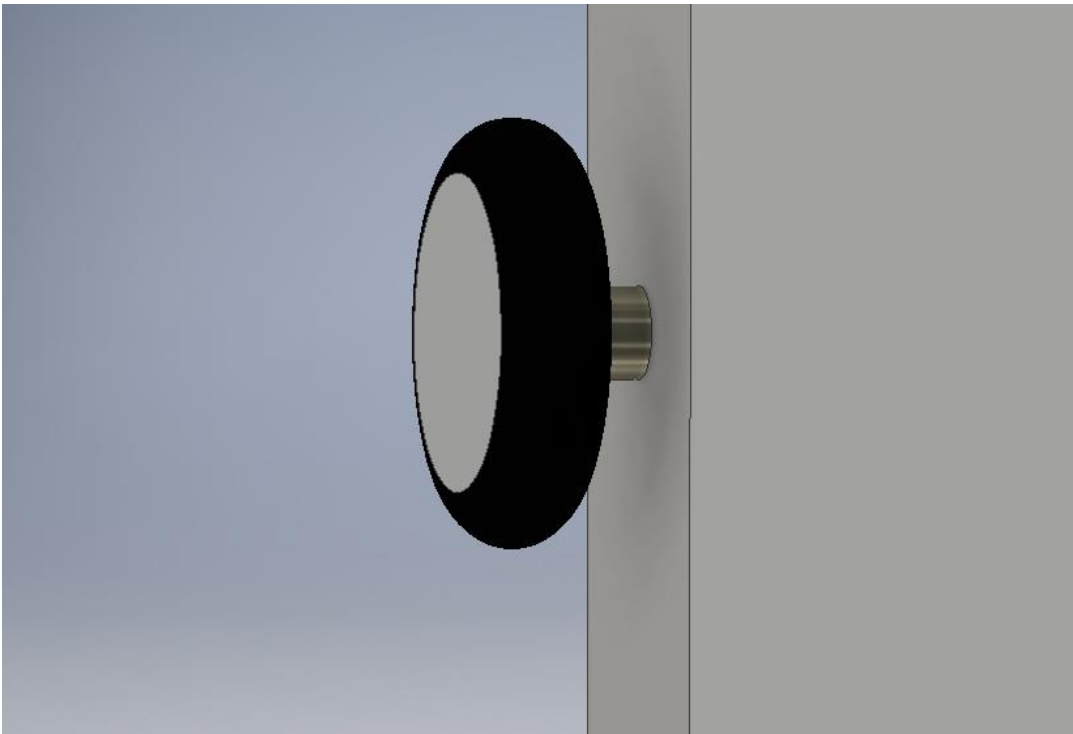
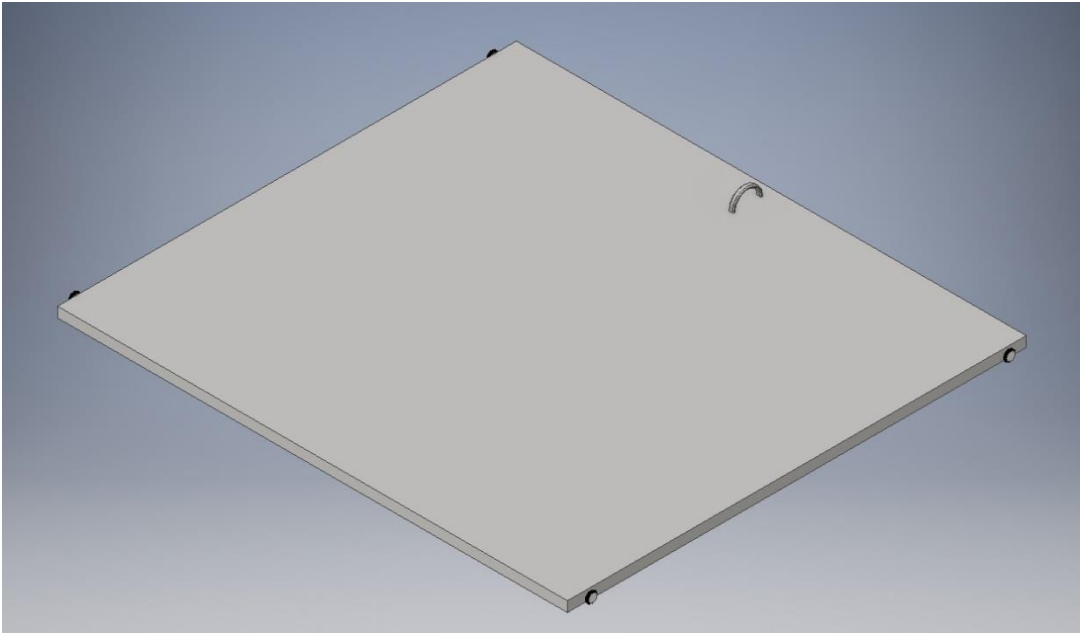
$$N_{tot} = \frac{998 \times 9,81 \times 1 \times 0,9^2}{2} = 3965 \text{ N}$$

Friktionskraften fås enligt ekvation 3. Friktionskoefficienten μ_s för PEHD (PE hög densitet) i lagerapplikationer har värdet cirka 0,25 (Sveriges Mekanförbund, 1984, s. 238-239). Detta värde få ses som approximativt eftersom glidning sker i fallet PE mot PE.

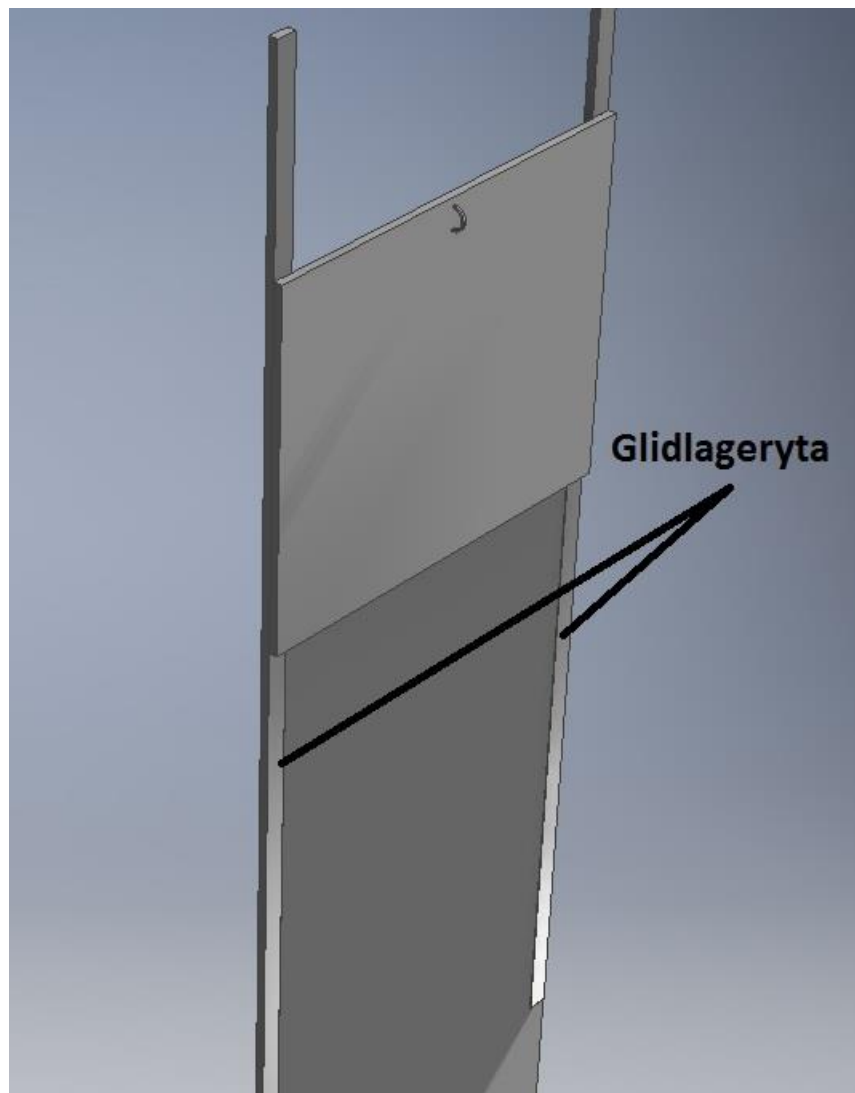
$$|F|_{max} = \mu_s \times |N_{tot}| = 0,25 \times 3965 \text{ N} = 991 \text{ N} \quad (3)$$

Ekvation 3 ger den totala friktionskraften 991 N strax innan skivan börjar glida.

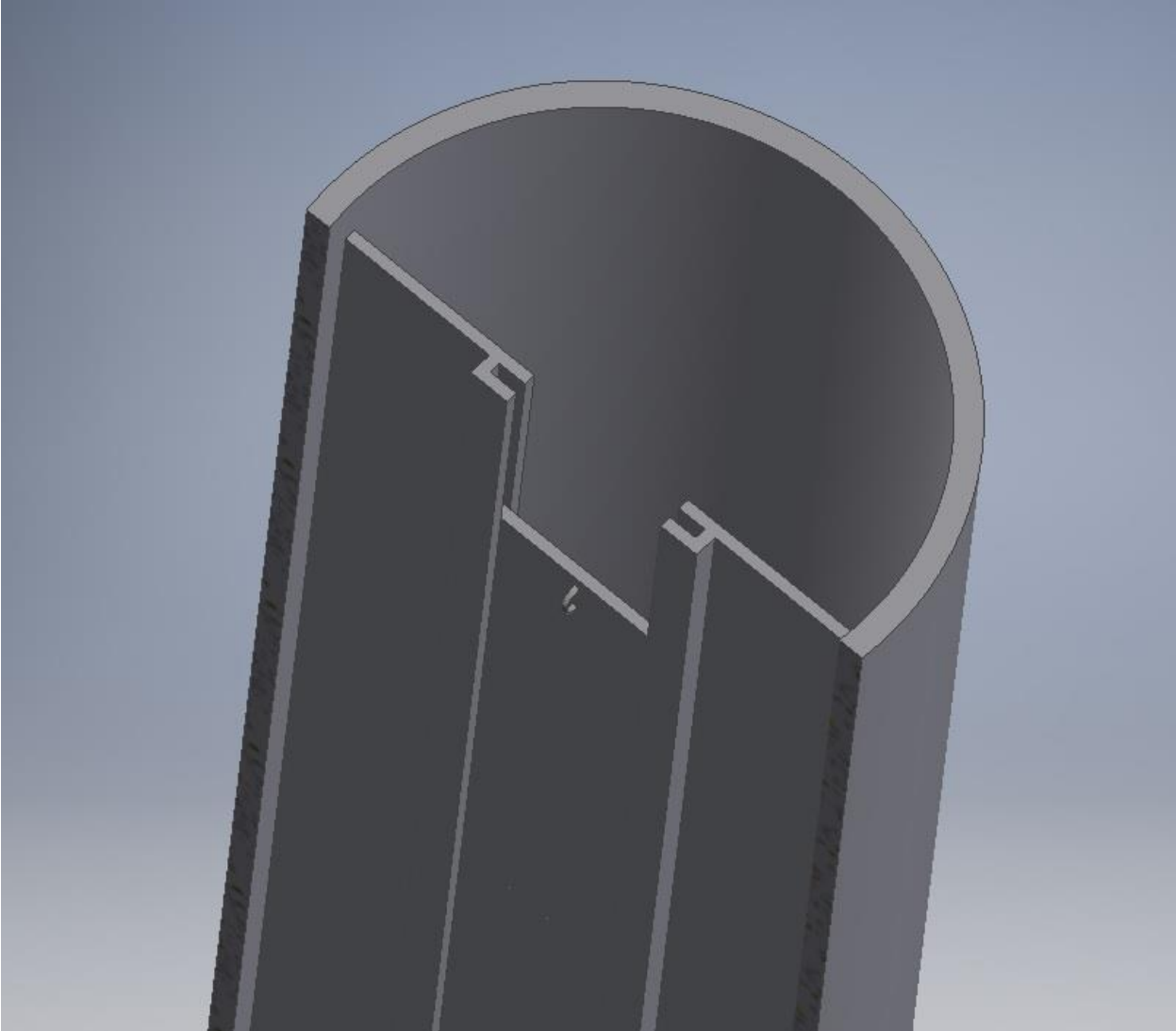
Bilaga N – Principlösning 1



Bilaga O – Principlösning 2



Bilaga P – Principlösning 3



Bilaga Q – Principlösning 4

