



CHALMERS



Studie av gråvattenåtervinning i ett hotell

Miljökonsekvenser av minskad färskvattenanvändning
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

**OSCAR HERMANSSON
JAKOB SVENSSON**

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2021

Studie av grävattenåtervinning i ett hotell
Miljökonsekvenser av minskad färskvattenanvändning

OSCAR HERMANSSON
JAKOB SVENSSON



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdeleningen för Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Studie av grävattenåtervinning i ett hotell

Examensarbete för Högscoleingenjör inom Samhällsbyggnadsteknik

OSCAR HERMANSSON
JAKOB SVENSSON

© OSCAR HERMANSSON, JAKOB SVENSSON

Examinator: Anders Trüschel, Institutionen för Arkitektur och
Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för Installationsteknik

Handledare: Torbjörn Lindholm Institutionen för Arkitektur och
Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för Installationsteknik

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
SE-412 96 Gothenburg
Sverige
Telefon: +46 (0)31 – 772 1000
www.chalmers.se

Omslag: Rendering av Hotell Västerport i Varberg. Upphovsrätt:
Fredblad Arkitekter. Ansvarig arkitekt: August Orrling. Publicerat
med medgivande.

Göteborg, Sverige 2021

Sammanfattning

Färskvatten är ett grundläggande villkor för att människo- och djurliv ska kunna frodas och är därför en dyrbar resurs. Trots detta används i stora delar av västvärlden färskvatten för spolning i toaletter. Även om det idag inte råder någon vattenbrist i dessa områden kan det inom en snar framtid komma att göra det. En metod för att minska användningen av färskvatten är att använda gråvatten för spolning av toaletter.

I arbetet har utifrån en referensbyggnad ett system dimensionerats för rening och återvinning av gråvatten för spolning i toaletter, samt värmeåtervinning från gråvatten. Baserat på materialdata har kostnad och miljöpåverkan för systemet beräknats och både den ekonomiska samt den miljömässiga kostnaden jämfördes med de besparingar som systemet genererar. För att ta hänsyn till osäkerheter i indata utfördes en känslighetsanalys där indata varierades för att visa vilken påverkan detta ger på resultaten. Om gråvattenrening skulle visa sig ha både ekonomiska och miljömässiga fördelar skulle det innebära att aktörer på marknaden erhåller ett tydligt incitament att använda tekniken.

Resultaten visar att toalettspolning med gråvatten kan ge såväl ekonomiska som miljömässiga besparingar även om den miljömässiga besparingen tar lång tid för att kompensera för tillverkning av materialen. Värmeåtervinning medförde betydligt större besparingar både ekonomiskt och miljömässigt. Slutsatsen blev att det definitivt finns anledning att överväga att separera gråvatten- och svartvattenflöden för värmeåtervinning och eventuellt även för gråvattenåtervinning.

Abstract

Freshwater is a basic condition for human and animal life to thrive and it is therefore a valuable resource. Despite this, in large parts of the western world freshwater is used for flushing toilets. Although there is currently no water shortage in these areas, there might be in the near future. One method of reducing the use of freshwater is to use greywater to flush toilets.

Based on a reference building, a system for purification and recycling of greywater for flushing in toilets, as well as heat recovery from greywater, was designed. Based on material data the cost and environmental impact of the system have been calculated, and both the financial and the environmental cost were compared with the savings that the system generates. To take into account uncertainties in the input data, a sensitivity analysis was performed where the input data was varied to show what effect this has on the results. If greywater recycling were to prove to have both economic and environmental benefits, it would mean that market participants receive a clear incentive to use the technology.

The results show that toilet flushing with greywater can provide both economic and environmental savings, even if the environmental savings take a long time to compensate for the production of the materials. Heat recovery resulted in significantly greater savings both financially and environmentally. The conclusion was that there is definitely reason to consider separating greywater and blackwater flows for heat recovery and possibly also for greywater recovery.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Problemformulering	2
1.5 Metod	2
2. Teknisk bakgrund	4
2.1 Gråvatten och gråvattenåtervinning	4
2.2 Gråvattenrening	4
2.3 GWP och CO ₂ -ekvivalens	5
2.4 Värmeåtervinning	5
3. Beskrivning av referensobjekt och dimensionering av systemet	7
3.1 Indexering	7
3.2 Placering av reningsverk	8
3.3 Uppsamlingsystem	9
3.4 Förmedlingsystem	12
3.5 Balansberäkning	15
3.6 Reningssystem och pump	17
4. Genomförande och resultat	20
4.1 Litteraturstudie	20
4.2 Koldioxidekvivalentberäkningar	20
4.3 Ekonomi	23
4.4 Känslighetsanalys	24
5. Diskussion	29
6. Slutsats	32
Referenser	33
Bilagor	36
Bilaga A – Västerport Ritningar	36
Bilaga B – Samtliga beräkningar för uppsamlingsystemet	39
Bilaga C – Samtliga beräkningar för förmedlingsystemet	40
Bilaga D – AL-GW3600 ritning	42

Förord

Detta examensarbete är avslutningen på tre år på högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetets omfattning är 15 högskolepoäng och har utförts vid Avdelningen för Installationsteknik på Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik.

Arbetet hade inte varit möjligt utan en grupp av engagerade individer som hjälpt oss genom projektets gång och vi vill gärna ta tillfället i akt och tacka dess individuellt här i förordet av rapporten.

Mårten Everbrand - För sitt engagemang kring gråvattenapplikationer och hjälp med att finna ett passande referensobjekt för arbetet och för guidning gällande projektets ramar.

Anders Trüschel - Anders förtjänar en elogé för sin vägledning kring projektets avgränsningar och beräkningsmodeller.

Torbjörn Lindholm - För inspiration och för den noggranna korrekturläsningen av rapporten. Skillnaden mellan en rapport och bra rapport är bra och noggrann kritik.

Jesper Knutsson - För inspirerande samtal kring gråvattenåtervinning och sammanföring med flertalet aktörer från både arbetslivet och akademien.

Rahul Aggarwal - For your tremendous help with acquiring the current European standard for utilizing greywater.

Ingrid Westman - För de ändlösa konversationerna kring gråvattenapplikationer och andra miljövänliga lösningar på problem. En enkel lösning är en bra lösning.

Slutligen vill vi tacka J.A. Pripps.

Ordlista

- *Tappställe* – en enhet som konsumerar tappvatten.
- *Kopplingsledning* – en ledning som förbinder tappställe med fördelningsledning.
- *Fördelningsledning* – en ledning som försörjer två eller flera kopplingsledningar.
- *Avloppsenhet* – en enhet som producerar avloppsvatten.
- *Anslutningsledning* – en ledning som samlar spillvatten från en avloppsenhet.
- *Samlingsledning* – en ledning som samlar spillvatten från flera anslutningsledningar.
- *Normflöde* – det flöde som kan förväntas vid ett tappställe, acceptabelt med flöde 70-150% av normflöde.
- *Sannolikt flöde* – från summerat normflöde baserat på en samtidighetsfaktor som beror av största enskilda tappställe samt typ av verksamhet i byggnaden.
- *Ledningsfall* – när en samlingsledning eller en anslutningsledning lutar för att låta spillvatten rinna vidare utan att behöva till exempel en pump för att driva spillvattnet framåt.
- *Tryckfall* – när vatten flödar fram i ett rör uppkommer friktionsförluster som i sin tur ger tryckförluster. Detta betecknas som tryckfall.
- *Gråvattenkonsument* – enhet som konsumerar gråvatten.
- *Gråvattenproducent* – enhet som producerar gråvatten.
- *Uppsamlingsystem* – samlar gråvatten i en uppsamlingstank och för det till ett reningsverk.
- *Forslingssystem* – för rent vatten från reningsverket till en förvaringstank.
- *Förmedlingssystem* – för vattnet från förvaringstanken till sitt slutliga användningsområde
- *Kontaminering* – när något blivit förorenat.
- *Gråvatten* – vatten med låg till medelhög grad av kontaminering.
- *Svartvatten* – vatten med hög grad av kontaminering.
- *Schakt* – vertikala utrymmen i en byggnad som är skild från vistelseyta.
- *Installationsschakt* – schakt dedikerade för installationer så som tappvatten och avlopp.
- *Hydrofor* – tryckkärl för att bibehålla tryck i ett tappvattensystem.

1. Introduktion

Nedan följer introduktionen till projektet med en bakgrund följt av presentation av projektets ramar.

1.1 Bakgrund

Vatten är en grundläggande resurs för att människo- och djurliv ska kunna frodas. Jorden är täckt av vatten till närmare 71% av ytan (The Bureau of Reclamation, 2020). Dock är nästan allt det vattnet saltvatten vilket är oanvändbart för oss människor som dricksvatten. Endast tre procent av volymen kvarstår som sötvatten. Dessutom är en stor del av dessa tre procenten inte tillgängliga för oss utan endast 0.5 procent av allt vatten är tillgängligt sötvatten. Resterande sötvatten är bundet i glaciärer, atmosfären, marken eller är kontaminerat.

Idag används vatten av dricksvattenkvalitet till det mesta inom industri, för bevattning av grödor och för hushållsbehov över hela världen. I rapporten *Reassessing the projections of the World Water Development Report* påpekas korrelationen mellan populationsökning, konsumtionsökning och minskning av kvalitativa vattenkällor (Boretti & Rosa, 2019). Det råder redan nu konsensus inom den Europeiska miljöbyrån att vattenbristen i redan drabbade områden kommer under årets varmare månader att bli värre på grund av de rådande klimatförhållandena och den ökande efterfrågan (Europeiska miljöbyrån, 2018).

Samtidigt används i stora delar av västvärlden färskvatten för spolning i toaletter och även om det idag inte råder någon vattenbrist i dessa områden kan det inom en snar framtid göra det. En metod för att minska användningen av färskvatten är att använda gråvatten för spolning av toaletter. Gråvatten är den gemensamma benämningen på vatten som på något sätt är kontaminerat, exkluderat svartvatten från toaletter, se 2. *Teknisk bakgrund*. Gråvatten blandas idag med svartvatten, utan vidare användning, för att senare föras till reningsverk där det tas hand om.

Gråvatten kan under vissa förutsättningar ersätta färskvatten då det endast är måttligt kontaminerat och om det renas redan i byggnaden kan det användas ytterligare en gång, för spolning i toaletter, utan större inverkan på konsumenten. Ett gråvattenåtervinningssystem inkluderar, utöver ett vanligt vattendistributionssystem och spillvattensystem, ett system för att samla upp gråvatten och ett för att transportera det. Däremellan bör det renas för att minska hälsorisker, minimera bildning av slaggprodukter i rören samt att ta bort oönskade odörer. För användning i ett hotell är det viktigt att vattnet är tillräckligt rent då hotellrummet utgör en produkt och bristfällig rening kan göra att produkten upplevs negativt.

Enligt Europeiska miljöbyrån får inte heller implementeringen av ett sådant system påverka atmosfären genom utsläpp vid produktion eller drift som är oförsvarbara i relation till vattenbesparingarna gjorda av systemet (Europeiska miljöbyrån, 2018).

I dagsläget finns det ingen utbredd användning av tekniken trots flertalet företag inom branschen och ambitionen är att denna rapport kan verka som ett argument för användning av tekniken ur miljösynpunkt.

1.2 Syfte

I detta arbete ska ett system för gråvattenåtervinning dimensioneras och dess kostnad och miljöpåverkan beräknas. Här avses både den ekonomiska och den miljömässiga kostnaden som ska jämföras med de besparingar som erhålls.

1.3 Avgränsningar

För att fokusera på de mest relevanta delarna av projektet begränsas dess omfattning av följande.

- I projektet utnyttjas befintliga planlösningar och installationsschakt.
- Miljöpåverkan avser endast växthusgaser som tillförs till atmosfären, ej lokal eller regional inverkan av till exempel gifter eller partiklar.
- Negativ miljöpåverkan från systemet innefattar endast tillverkning.

1.4 Problemformulering

Projektet avser att besvara frågeställningen: *Är gråvattenåtervinning miljömässigt försvarbart och ekonomiskt gynnsamt?*

1.5 Metod

Litteraturstudie

För att skapa den grundförståelse som krävdes för att genomföra projektet gjordes en litteraturstudie. Denna innefattade en genomsökning av material som berörde framför allt gråvattenteknik och miljöanalys.

Val av referensobjekt

I detta arbete valdes att utgå från en planerad byggnad, som nedan benämns som referensobjekt. För att undvika dimensionering av övriga byggnadskomponenter såsom bärande strukturer och ge en bättre verklighetsanknytning genom att studera ett riktigt projekt.

De kriterier som referensobjektet idealt skulle uppfylla var att objektet skulle ha:

- färdiga ritningar och planlösningar.
- en repetitiv våningsplanlösning för att underlätta dimensioneringen genom att systemet endast behöver utformas en gång.
- ett relativt stort antal producenter och konsumenter av gråvatten.

Dimensionering

För att enklare kunna hantera det stora antalet producenter och konsumenter av gråvatten indexerades referensobjektets våningar, rum, tappvattenställen och schakt. Dessutom bestämdes en passande placering av reningsverket med tillhörande uppsamlingstank.

För att dimensionera uppsamlingssystemet användes metoderna beskrivna i VVS-installatörernas teknikhandbok vilken anses vara branschpraxis för att dimensionera spillvatten (Stålbom & Allmänna VVS Byrån AB, 2021). Metodiken syftar till att använda ett schablon-normflöde för de enskilda gråvattenproducenterna som sedan summeras vilket ger ett minimivärde för både dimension av rör och erforderlig lutning. Fördelaktigt är att minimera

antalet dimensionsändringar, men även det totala fallet då det är begränsat av bjälklagshöjden. Efter att uppsamlingssystemet var dimensionerat översattes det totala normflödet till ett totalt sannolikt flöde av gråvatten att återvinna.

Förmedlingssystemets normflöden till gråvattenkonsumenterna fastställdes enligt VVS-installatörernas teknikhandbok och översattes sedan till ett sannolikt flöde (Stålbom & Allmänna VVS Byrå AB, 2021). Det sannolika flödet var sedan dimensionerande för rören. Om flödet för en given dimension gav för hög hastighet ökades dimensionen och detsamma gällde för tryckfallet per meter i röret.

För att se om det aktuella flödet från gråvattensproducenterna var tillräckligt för att täcka behovet som fanns hos konsumenterna utfördes en enkel balansberäkning där förhållandet mellan produktion och konsumtion av gråvatten undersöktes.

Slutligen dimensionerades reningssystemet och förvaringstanken baserat på det beräknade behovet från balansberäkningen. I valet av reningssystem var reningsgrad och reningskapacitet centrala kriterier.

För att kunna få fram en total kostnad för systemet samt reningskapacitet valdes en specifik tillverkares produkt.

Beräkningar

Utifrån materialdata beräknades en total CO₂-ekvivalent för rörsystemets material och reningsverkets material. Då data saknades gjordes ingenjörsmässiga uppskattningar.

Utsläppsbesparingen som återanvändning av gråvatten möjliggjorde beräknades med data för koldioxidekvivalenter per enhet vatten. För att göra ytterligare besparingar undersöktes även möjligheten att installera en värmeväxlare för värmeåtervinning från gråvattnet. En miljömässig återbetalningstid beräknades genom att jämföra utsläpp orsakade av gråvattenåtervinningssystemets material med utsläppsbesparingarna.

För att beräkna systemets ekonomiska lönsamhet gjordes en uppskattning av systemets kostnad. Denna jämfördes med de uppskattade besparingarna av vatten och värmeåtervinning för att bestämma en ekonomisk återbetalningstid.

En känslighetsanalys genomfördes där indata varierades för att granska dess inverkan på både den ekonomiska och miljömässiga återbetalningstiden.

2. Teknisk bakgrund

Det här kapitlet beskriver gråvattenåtervinning, koldioxidekvivalenter och värmeåtervinning.

2.1 Gråvatten och gråvattenåtervinning

Avloppsvatten från hushåll och de flesta icke-industriella verksamheter kan delas upp i två kategorier; svartvatten och gråvatten (Gross et al., 2015). Svartvatten är avloppsvatten från toaletter och därmed det avloppsvatten som är mest kontaminerat. Gråvatten är vatten från handfat, dusch och bad, tvätt samt kök. Ytterligare en distinktion kan göras mellan mörkt gråvatten, som är avloppsvatten från kök och är förorenat i högre grad, och ljusst gråvatten som är övrigt gråvatten och är minst förorenat.

Bruksvatten definieras som vatten med annan karaktäristik än dricksvatten. Detta innebär vatten som är brukbart för till exempel toalettspolning eller bevattning. Renat gråvatten blir till bruksvatten, förutsatt att det renats enligt rådande lagkrav (Swedish Institute for Standards, 2021). Eftersom gråvatten är kontaminerat är användningsområdena för orenat gråvatten begränsade och för vårt användningsområde kräver beställaren att vattnet renas. Detta för att minska hälsorisker, minimera bildning av slaggprodukter i rören samt att ta bort oönskade odörer.

2.1.1 Gråvattenkaraktäristik

Gråvattens karaktäristik präglas i hög grad av de olika hygien- och rengöringsprodukter som används i en viss byggnad (Gross et al., 2015). Mörkt gråvatten innehåller dessutom ofta fetter och annat organiskt material från matrester. Dessa tillsatser bidrar även till gråvattnets färg, vanligen grå, därav namnet. Vanligtvis är vattnets doft svag, eventuellt påverkad av rengöringsprodukter, men om det blir stillastående för länge påbörjas anaeroba(syrefria) nedbrytningsprocesser som bidrar till en obehaglig doft av svavel. Andelen mikrober så som E. Coli är mindre i ljusst gråvatten till följd av att andelen biologiskt material är mindre.

2.1.2 Gråvattenåtervinning

En metod för att minska vattenförbrukningen i en byggnad är att rena och återanvända gråvatten och på så sätt minska behovet av tillfört färskvatten (Gross et al., 2015). Applikationerna sträcker sig hela vägen från exempelvis bevattning av växter till fullvärdigt dricksvatten.

Ett gråvattenåtervinningssystem kan delas in i fyra delar; ett uppsamlingssystem som samlar gråvatten i en uppsamlingstank och för det till ett reningsverk, själva reningsverket, ett forslingssystem som för rent vatten från reningsverket till en förvaringstank, och ett förmedlingssystem som för vattnet från förvaringstanken till sitt slutliga användningsområde.

I detta projekt kommer begreppen gråvattenproducenter användas för de enheter som producerar gråvatten, alltså duschar och handfat, och gråvattenkonsumenter för de enheter som konsumerar gråvatten, alltså toaletter.

2.2 Gråvattenrening

Beroende på gråvattnets användningsområde behöver det renas till olika grad. I vissa applikationer behövs endast grovfiltrering och i andra krävs betydligt högre nivå av rening. Det här spannet av rening gör att komponenterna som ingår i ett reningsverk varierar.

Generellt för de applikationer som kräver medelhög till hög rening ingår sedimentation följt av filtrering samt någon typ av desinfektion (Gross et al., 2015).

Ett sätt att rena vatten ytterligare är att använda biologisk rening. I denna metod används mikroorganismer som bryter ned organiskt material.

Sedimentation via gravitation är en av de vanligaste förbehandlingsmetoderna och används ibland även för att separera slam i senare stadium av reningen.

Filtrering är processen där partiklar avlägsnas. Filter med olika porstorlekar används för att avlägsna olika partikelstorlekar. Exempelvis används grovfilter för att initialt sortera bort grovt material medan membranfilter med mycket liten porstorlek används för att filtrera lösta material och bakterier.

Även om vissa membran teoretiskt sett har möjlighet att avlägsna i princip alla skadliga mikroorganismer kan det inte förutsättas utifrån de höga krav som ställs på bruksvatten. Dessutom kan dessa membran vara dyra att installera. Därför används oftast någon typ av desinficering i slutskedet av vattenreningsprocessen. Exempel på desinficeringsmetoder är klorering och UV-strålning som på olika sätt bryter ned och dödar mikroorganismer.

2.3 GWP och CO₂-ekvivalens

Växthusgaser som släpps ut i atmosfären har olika potential vad gäller bidrag till växthuseffekten. När ett lands eller företags utsläpp beräknas inkluderar detta flertal gaser så som koldioxid, CO₂, och metan, CH₄. För summering av dessa till en representerande och jämförbar siffra används en faktor för respektive gas. Denna faktor benämns *Global Warming Potential, GWP* (United States Environmental Protection Agency, u. å. b). Traditionellt används *GWP₁₀₀*, alltså inverkan under tidsperioden 100 år (Greenhouse Gas Protocol, 2013).

Enligt definitionen har CO₂ GWP-värdet 1. Anledningen till att CO₂ är referensgasen är för att det hittills anses vara den största bidragande faktorn till växthuseffekten (United States Environmental Protection Agency, u. å. b). CO₂-ekvivalens, alternativt CO₂e eller CO₂-eq, avser alltså möjligheten att konvertera utsläppet av flertalet gaser till en gemensam siffra (Naturvårdsverket, 2017). Exempelvis har metan *GWP₁₀₀*-värdet 28 och 1 kg metan motsvarar således 28 kg CO₂-eq (Greenhouse Gas Protocol, 2021).

I detta projekt kommer begreppet *miljömässig återbetalningstid* att användas. Detta är tänkt som ett effektivitetsmått på en produkt som syftar till minskad miljöpåverkan och sätter denna i relation till den miljöpåverkan som produkten orsakar genom dess tillverkning. Den miljömässiga återbetalningstiden beräknas genom att undersöka hur lång tid det tar för produktens positiva miljöeffekter att kompensera för dess negativa miljöeffekter. Miljöeffekter innebär i detta fall utsläpp mätt i kg CO₂-eq per år.

2.4 Värmeåtervinning

En värmeväxlare använder den termiska energin av en fluid för att värma en annan fluid utan att blanda dem (Cengel et al., 2017). Fluiderna kan antingen vara vätska eller gas vilket ger fyra möjliga kombinationer; vätska-vätska, gas-gas, gas-vätska eller vätska-gas. Värmeväxling kan ske i ett eller flera steg av dessa kombinationer. Vid ett steg utan

blandning av fluider kallas värmeväxlaren för *Ytvärmeväxlare* eller *Rekuperativ värmeväxlare* (Leckner & Werner, 1980).

Ytvärmeväxlaren kan specificeras med tre olika typer av flödesriktningar som ger olika egenskaper för värmeöverföringen (Leckner & Werner, 1980). De tre flödesriktningarna är med-, mot- och tvärströms.

Den vanligaste typen av värmeväxlare för vätska-vätska är på grund av dess låga kostnad och acceptabla verkningsgrad motströms tubvärmeväxlare. I denna är ett rör placerat koncentriskt inuti ett annat rör och i båda rören flödar fluiderna motsatt håll i relation till varandra (Cengel et al., 2017).

De egenskaper som för en tubvärmeväxlare påverkar verkningsgraden mest är massflöden för de båda fluiderna, in- och utloppstemperaturer av fluiderna, fluidernas specifika värmekapacitet och skiljeväggens värmeledningsförmåga (Leckner & Werner, 1980). Även hur isolerad värmeväxlaren är från omgivningen spelar en stor roll.

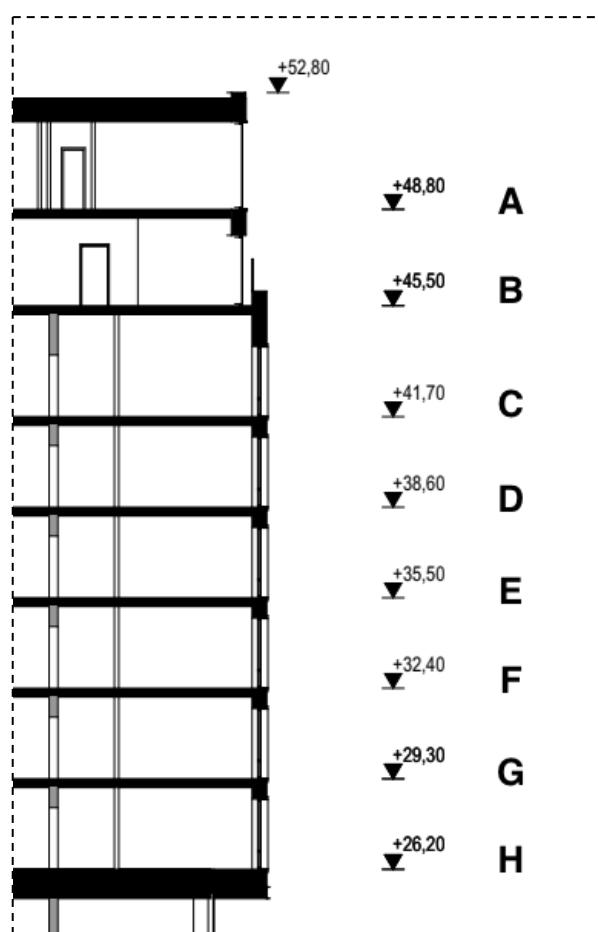
För att bibehålla verkningsgraden av värmeväxlaren skall uppbyggnad av avlagringar undvikas då det drastiskt försämrar värmeöverföringen mellan fluiderna (Leckner & Werner, 1980). Detta innebär att vid värmeåtervinning bör fluiderna vara rena och inte kontaminerade av andra partiklar. Vid värmeåtervinning av avloppsvatten bör således grå- samt svartvatten separeras och endast gråvatten värmeåtervinnas för att minska mängden lösa partiklar som passerar genom värmeväxlaren (Isakssons, u. å.).

3. Beskrivning av referensobjekt och dimensionering av systemet

Baserat på de kriterier som ställts upp valdes Hotell Västerport som referensobjekt.

3.1 Indexering

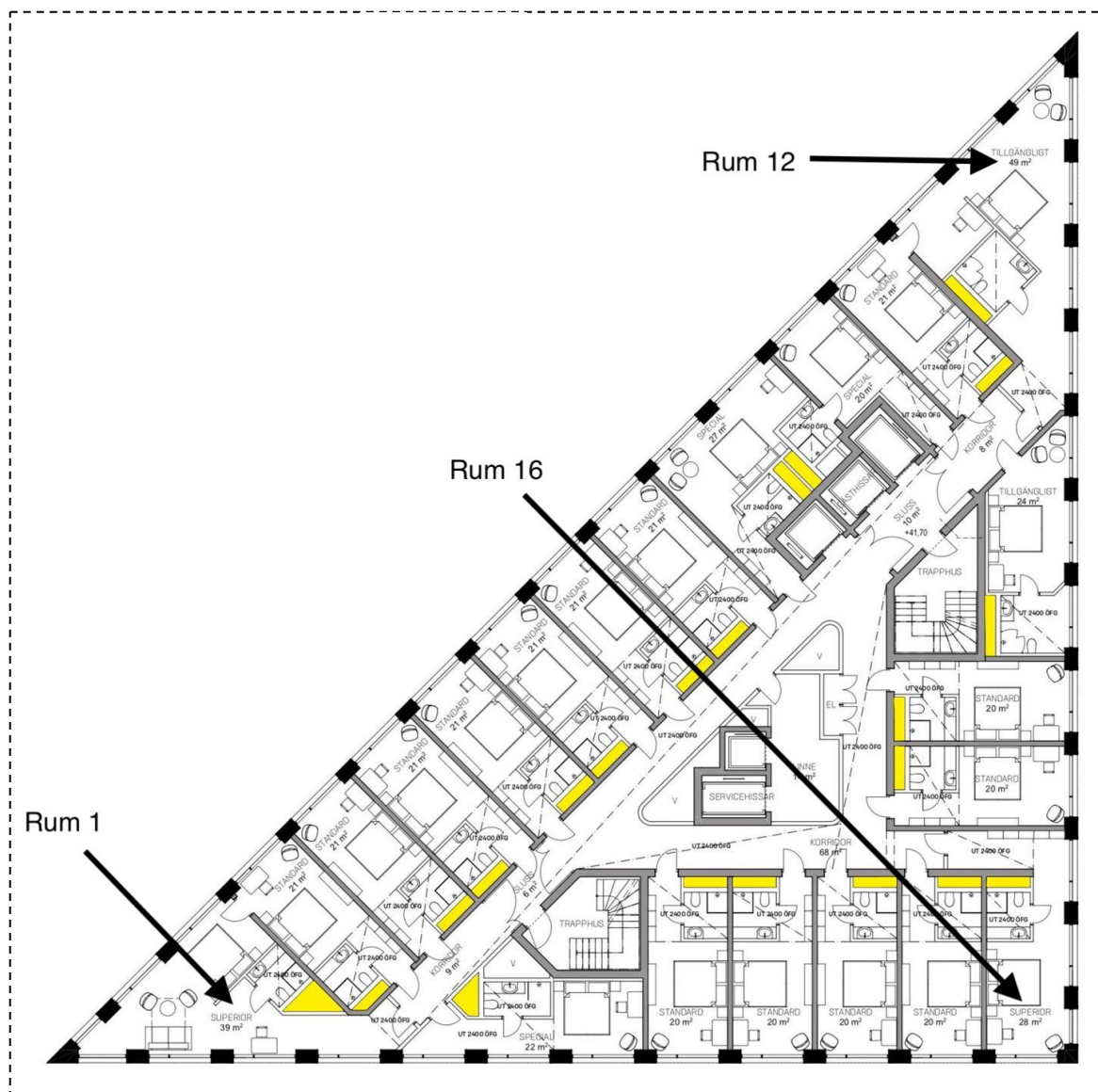
Vid granskning av referensobjektets ritningar, se *Bilaga A – Västerport Ritningar* konstaterades det att våning sju till 12 hade näst intill identiska planlösningar och i samråd med handledare begränsades projektet till dessa våningar. Våning 12 användes som referensvåning, se *figur 2*. Våningarna betecknas i beräkningar med en bokstav med starten A på den första våning med vistelseyta från taket, se *figur 1*. Således benämns den fjortonde våningen som våning A och projektets omfattning är framför allt våning C till och med H.



Figur 1 - Indexering av våningsplan (Orrling, 2019). Publicerad med tillstånd.

Våningen har 21 rum med tillhörande badrum. Hotellrummen som är fokus i projektet indexerades sedan som en förlängning av våningsbenämningen följt av en siffra. Siffran hänvisar således till rumsnumret på våningen där numreringen startar i det sydvästra hörnet med nummer 1, se *figur 2*.

Byggnaden är utformad med ett enskilt installationsschakt för varje badrum, se *figur 2*, i stället för ett, eller några, centrala schakt. Rumsnumret är således även ett index för schaktet som rummet ansluts till.



Figur 2 - Referensvåning med markering av schaktplacering i gult och exempel på rumsindexering (Orrling, 2019). Publicerad med tillstånd.

Därefter betecknas grävattensproducenterna handfat och dusch med bokstaven H respektive D. Grävattenkonsumenten, alltså toaletten, betecknas med T.

Som exempel benämns alltså superiorsvitens dusch på våning 12 i det sydvästra hörnet som; C1D.

3.2 Placering av reningsverk

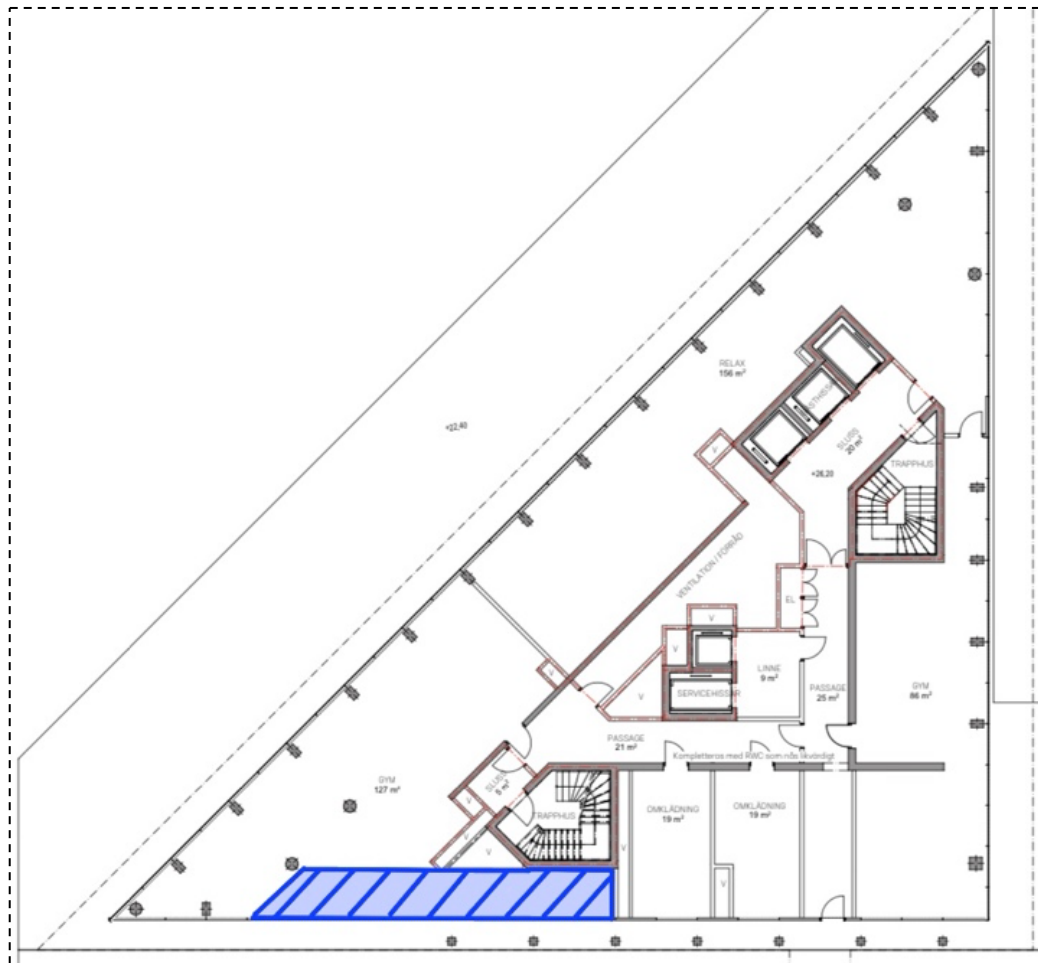
Reningsverket med tillhörande uppsamlingstank skulle placeras så att självfall kunde användas som metod för att samla upp grävattnet. Det var alltså inte aktuellt med våningarna A till och med H. Den första aktuella våningen var således våning I, vilket gjorde att reningsverket behövde placeras utanför de aktuella referensvåningarna.

På våning I, se *Bilaga A – Västerport Ritningar*, finns det i huvudhuskroppen två gym, en relaxavdelning och två omklädningsrum. Med fördel placeras reningsverket i huvudhuskroppen för att undvika onödiga rörsträckningar vilket medför ökade behov av fall i uppsamlingssystemet och tryckfall i förmedlingssystemet.

Kärnan av våningen är relativt fylld med passager, schakt och trapphus. Omlädningsrummen är redan relativt små. Många ytor kan således inte användas för placering av reningsverket.

Schakten för referensvåningarna är placerade runt ytterkanten av byggnaden och reningsverket bör placeras i ytterkant med hänsyn till rörlängder. Då relaxavdelningen och det större gymmet har havsutsikt är det mindre önskvärt att placera reningsverket i denna ände. Dock är det mindre gymmet hela 32.3% mindre än det större och bör inte minskas ytterligare.

Reningsverket placeras därför i den södra delen av det större gymmet enligt *figur 3* nedan.



Figur 3 - Illustration av potentiell placering av reningsverk i blått, våning I (Orrling, 2019). Publicerad med tillstånd.

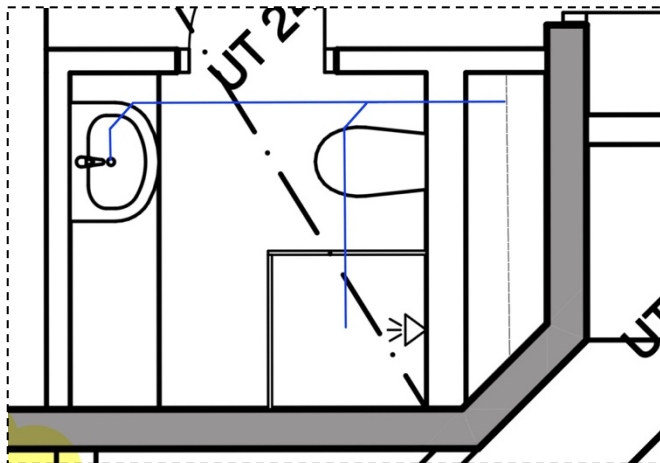
3.3 Uppsamlingsystem

Nedan följer resultatpresentationen av dimensioneringen av uppsamlingsystemet.

Badrum

Rördragningen för gråvattenuppsamling i de individuella badrummen undersöktes för att dimensionera längder, rördimensioner och lutning. Vid närmare granskning upptäcktes det att 18 av de 21 rummen per våning delade badrumsdesign. De övriga badrummen var snarlika vad gäller dimensioner och konfiguration. Det vanligaste badrummet valdes därför som referensbadrum.

Figuren nedan illustrerar placeringen av spillrör i bjälklaget som samlar upp gråvatten från handfat och dusch.



Figur 4 - Illustration av rördragning för gråvattenuppsamling, referensbadrum (Orrling, 2019). Publicerad med tillstånd.

I tabell 1 ses vald lutning och dimension på rören som bestämdes med hjälp av Projektering av VVS-installationer (2013). Minsta dimension på anslutningsledning för tvättställ och dusch är DN40 respektive DN70, men då den minsta möjliga mängd material bör användas väljs en mindre dimension. Då DN50 och DN75 är standarddimensioner väljs dessa. Given konfiguration ger ett totalt fall av 4.46 cm vilken får plats i bjälklaget utan problem.

Tabell 1 - Dimensionering anslutningsledningar, referensbadrum.

ENHET	NORMFLÖDE [l/s]	TOTAL LÄNGD	DIMENSION	LUTNING [‰]	S [m]
HANDFAT	0.6	1533	DN50	13	0.0199
DUSCH	1.5	1167	DN75	13	0.0152
T TILL SCHAKT	2.1	733	DN75	13	0.0095
					0.0446

Stående samlingsledning

Efter att badrummet dimensionerats följde dimensionering av den luftade samlingsledningen som löper genom vart och ett av de 21 schakten i byggnaden. Då det summerade normflödet från ett enskilt badrum var 2.1 liter/sekund ökade alltså normflödet med motsvarande flöde för varje våning vilket gav en minsta dimension som kunde användas (Stålbom & Allmänna VVS Byrå AB, 2021).

Tabell 2 - Dimensionering stående samlingsledning, referensschakt.

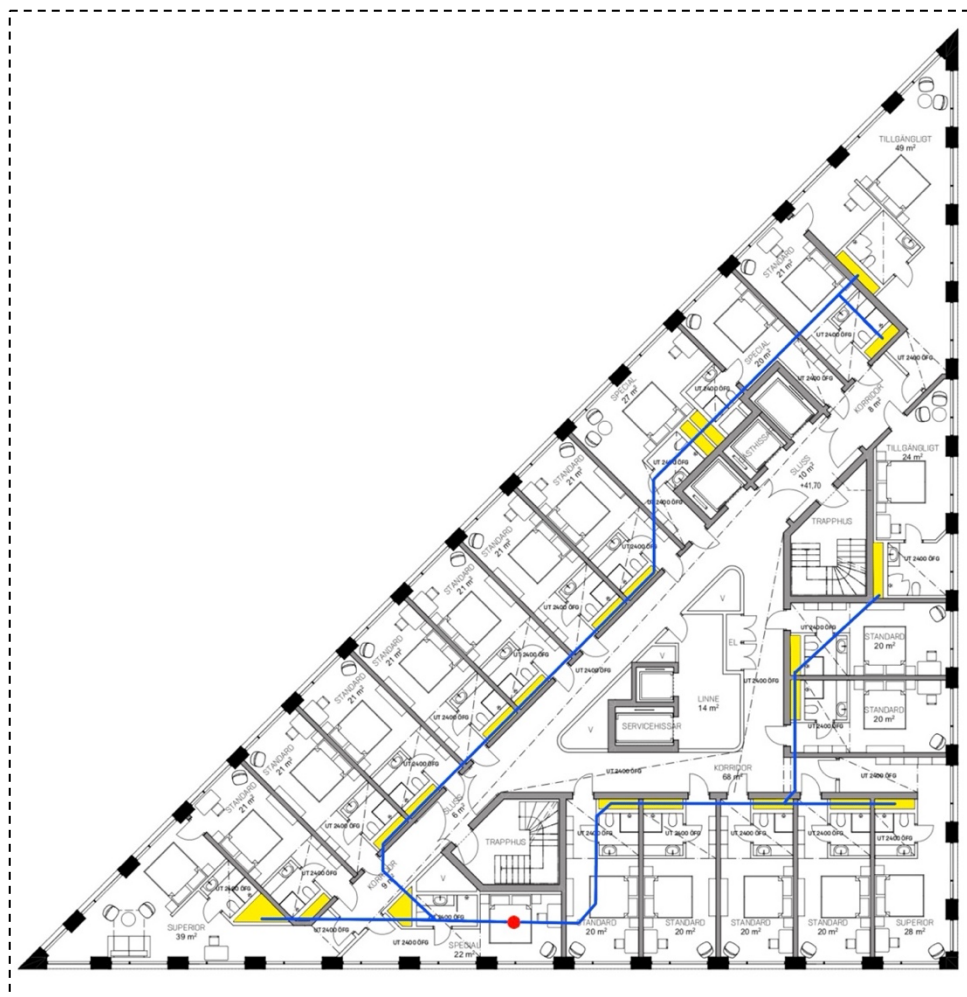
STÅENDE SAMLINGSLEDNING SCHABLONSCHAKT			
VÅNING	NORMFLÖDE [l/s]	MIN STANDARD DIM	LÄNGD [m]
C-D	2.1	DN75	3.1
D-E	4.2	DN75	3.1
E-F	6.3	DN75	3.1
F-G	8.4	DN100	3.1
G-H	10.5	DN100	3.1
H-RENING	12.6	DN100	0.5
Dimensionerande:	12.6	DN100	

För att minska totalvolymen av de rör som används valdes att använda DN75 till stammen på de övre våningarna och DN100 till de nedre.

Enligt Stålbom & Allmänna VVS Byrån AB (2021) ska minsta dimension på en luftningsledning över tak vara DN100 om DUT, *dimensionerande utetemperatur*, är lägre än -18 °C. I detta fall sker luftning inuti schaktet och då gäller minsta dimension DN75, varpå dimensioneringen är godkänd. För att förhindra spridning av dålig lukt används automatiska luftningsventiler.

Liggande samlingsledning

I installationsskiktet under bjälklaget mellan våning H och I placeras en liggande samlingsledning för att samla upp grävatten från samtliga schakt. Den liggande samlingsledningen placerades med hänsyn till att undvika räta vinklar, som stör flödet, i största möjliga mån. Dessutom undveks större ledningsdimensioner genom att fördela schakten jämt över två samlingsledningar samt ledningsdimensioner som gav alldeles för höga ledningsfall.



Figur 5 - Illustration liggande samlingsledning i bjälklag mellan våning H och I, röd punkt markerar placering av reningsverk (Orrling, 2019). Publicerad med tillstånd.

Efter att ledningsschemat för den liggande samlingsledningen bestämts beräknades flöden för samtliga rör genom att addera schakten som denna passerade. Med flöden och längder kunde preliminära dimensioner efter minimumlutningar beräknas, men för att undvika stor variation av dimensioner gjordes ingenjörsmässiga bedömningar för att slutligen använda endast två dimensioner, DN100 och DN150. Med givna flöden samt dimensioner beräknades lutningar för respektive rörlängd och självfallshöjder beräknades. Fullständiga beräkningar ses i *Bilaga B – Samtliga beräkningar för uppsamlingssystemet*.

Totalt fall för liggande samlingsledning 1 och 2 beräknades till 81.8 cm respektive 43.2 cm. Då höjden på installationsskiktet ej är bestämd går det inte att veta om det får plats där i. Det summerade normflödet beräknades till 264.6 l/s vilket motsvarar ett sannolikt flöde på 9.2 l/s (Statens planverk, 1970).

3.4 Förmedlingssystem

Nedan följer resultatpresentationen av dimensioneringen av förmedlingssystemet.

Förvaringstanken

Centralt för att dimensionera förmedlingssystemet är placeringen av förvaringstanken. Därför gjordes detta först. Förvaringstanken kunde med fördel placeras på taket och således

generera en tryckdifferens för att driva ut vattnet till konsumenterna. Fördelen med denna design var att en pump kunde arbeta idealt i längre perioder för att fylla tanken med vatten från reningsverket och sedan vara avstängd tills det att tanken åter behövde fyllas. Tanken kunde även placeras närmare reningsystemet där erforderlig tryckuppsättning åstadkoms med en annan, större pump i samspel med en hydrofor för att denna pump inte skulle starta vid varje tappning i systemet.

För att göra en bedömning kring placeringen beräknades tryckdifferensen till våning C där det mest utsatta tappstället skulle vara. Tryckökningen från taket ner till första tappstället beräknades enligt nedan.

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H = 108\,891 \text{ Pa} \quad (1)$$

$$\text{Där } \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ N/kg}$$

$$\Delta H = 52.8 - 41.7 = 11.1 \text{ meter}$$

Lägsta tryck vid tappställe bör ej understiga 100 kPa (1 bar) (Warfvinge & Dahlblom, 2016). Tillgängligt tryck blev här 109 kPa och då tryckfallet till mest utsatta tappställe översteg 9 kPa avfärdades idén. I stället placerades tanken i utrymmet för uppsamlingsstanken och reningsverket för att undvika onödiga rörlängder.

Badrum

Då toaletten är placerad nära schaktet i referensbadrummet approximeras längden på alla kopplingsledningarna till en meter med ett normflöde på 0.1 l/s (Stålbom & Allmänna VVS Byrån AB, 2021). För samtliga sträckor användes ett PEX rör med en innerdiameter på 10 mm, vilket ger en flödeshastighet på 1.27 m/s och ett tryckfall på 2600 Pa/m.

Stående fördelningsledning

Varje schakt får ett summerat normflöde av 0.6 l/s vilket ger ett sannolikt flöde på 0.4 l/s (Roth, u. å.). Rörlängderna antogs till samma värden som för den stående samlingsledningen för grävattenuppsamling. Vid användning av ett PEX-rör med varierande diametrar erhålls följande värden.

Tabell 3 - Dimensionering stående fördelningsledning, referenschakt.

RÖRLÄNGD	LÄNGD[m]	NORM [l/s]	SANN [l/s]	DIAMETER [mm]	HASTIGHET [m/s]	TRYCKFALL [Pa/m]	TRYCKFALL [Pa]
I-H	2	0.6	0.4	16	1.99	2800	25220
H-H1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
H-G	3.1	0.5	0.38	16	1.89	2200	37231
G-G1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
G-F	3.1	0.4	0.36	16	1.79	2100	36921
F-F1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
F-E	3.1	0.3	0.3	16	1.49	1800	35991
E-E1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
E-D	3.1	0.2	0.2	13	1.51	2600	38471
D-D1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
D-C	3.1	0.1	0.1	10	1.27	2600	38471
C-C1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600

I tryckfallet för de vertikala ledningarna är inverkan av gravitationen inkluderad, då pumpen som används inte bara övervinner friktionen i rören utan även höjdskillnaden.

Liggande fördelningsledning

Den liggande fördelningsledningen som förbinder schakten valdes att placeras parallellt med den liggande samlingsledningen för gråvatten, se *figur 5*. Rörlängder kunde således uppskattas till detsamma som för samlingsledningen för gråvatten. För att beräkna tryckfall användes samma princip som tidigare.

Tabell 4 - Dimensionering liggande fördelningsledning.

RÖRLÄNGD	LÄNGD[m]	NORM [l/s]	SANN [l/s]	DIAMETER [mm]	HASTIGHET [m/s]	TRYCKFALL [Pa/m]	TRYCKFALL [Pa]
1-2	2.3	0.6	0.4	20	1.27	800	1840
2-21	3.7	1.2	0.47	20	1.50	1400	5180
21-A	1.3	1.8	0.53	20	1.69	1900	2470
A-RENING	1.4	7.8	0.89	26.2	1.65	1300	1820
3-A	4	6	0.79	26.2	1.47	1000	4000
4-3	2	5.4	0.77	26.2	1.43	950	1900
5-4	4.7	4.8	0.73	26.2	1.35	900	4230
6-5	1.9	4.2	0.69	26.2	1.28	800	1520
7-6	4.6	3.6	0.66	26.2	1.22	750	3450
8-7	1.9	3	0.62	20	1.97	2400	4560
9-8	7.2	2.4	0.58	20	1.85	2000	14400
10-9	0.5	1.8	0.53	20	1.69	1900	950
B-10	7.9	1.2	0.47	20	1.50	1400	11060
11-B	2.8	0.6	0.4	20	1.27	800	2240
12-B	1.3	0.6	0.4	20	1.27	800	1040
20-RENING	2	4.8	0.73	26.2	1.35	900	1800
19-20	10.9	4.2	0.69	26.2	1.28	800	8720
18-19	1.9	3.6	0.66	26.2	1.22	750	1425
C-18	4.8	3	0.62	20	1.97	2400	11520
15-C	0.9	1.8	0.53	20	1.69	1900	1710
14-15	4.4	1.2	0.47	20	1.50	1400	6160
17-C	1.2	1.2	0.47	20	1.50	1400	1680
16-17	2.4	0.6	0.4	20	1.27	800	1920
13-14	1.7	0.6	0.4	20	1.27	800	1360

Det summerade normflödet beräknades till 12.6 liter/sekund vilket motsvarar ett sannolikt flöde på 1.12 liter/sekund (Swedish Institute for Standards, 2006).

Engångstryckfall



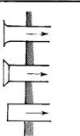


Då engångstryckfall sker vid dimensionsändringar, T-stycken och krökar beräknades även dessa. Ekvationen nedan användes för detta.

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{V^2}{2} \quad (2)$$

Där ζ enligt tabell

V är flödes hastigheten i aktuellt rör

Tabell 5 - Koefficienter för engångstryckfall (PumpPortalen.se, u. å.).

	rörbøj 90° $r > 4d$ $\zeta \approx 0,2$ $r = d$ $\zeta \approx 0,4$ rörbøj 180° $\zeta \approx 2 \times 90^\circ$
	skarpkantat $\zeta \approx 0,5$ avrundat $\zeta \approx 0,25$
	inloppsdyssa $\zeta \approx 0,05$ inloppsträtt $\zeta \approx 0,2$ instucket rör $\zeta \approx 1,5$
	förgrening $\zeta \approx 0,1$ (genomströmning) $\zeta \approx 0,9$ (avgrening)
	T-rör $\zeta \approx 0,4$ (genomströmning) $\zeta \approx 0,2$ (tillkommande gren)

Tabell 5 visar värden på koefficienten ζ och där flöde vid T-stycke var lika i två riktningar antogs ett medelvärde av spannet. Samtliga engångstryckfall ses i *Bilaga C – Samtliga beräkningar för förmedlingssystemet*.

Dimensionerande tryckfall

För att bestämma dimensionerande tryckfall gjordes bedömningen att det borde handla om längst bort i respektive slinga, alltså schakt 11 eller 13. Tryckfall genom aktuella rör och engångstryckfall summerades för de två toaletter som är placerade längst ifrån reningsverket, C11T och C13T. Resulterande tryckfall beräknades till 271 kPa respektive 253 kPa. Dimensionerande tryckfall blir således 271 kPa.

Samtliga värden kan ses i sin helhet i *Bilaga C – Samtliga beräkningar för förmedlingssystemet*.

3.5 Balansberäkning

För att säkerställa att mängden producerat gråvatten är tillräcklig för att täcka behovet för användning utfördes balansberäkningar. Där jämfördes förväntad gråvattenproduktion med förväntat gråvattenbehov utifrån beräkningar baserade på en metod ur SS-EN 16941–2:2021 (Swedish Institute for Standards, 2021).

Produktionsberäkningar

$$Y_G = n \cdot (Q_S \cdot t_S \cdot u_S + V_{BT} \cdot u_{BT} + Q_{HWP} \cdot t_{HWP} \cdot u_{HWP} + V_{WM} \cdot u_{WM} + Q_{KS} \cdot t_{KS} \cdot u_{KS} + V_{DW} \cdot u_{DW}) \quad (3)$$

Där Y_G är total gråvattenproduktion [liter/dygn]

n är antal individer

Q_S är volymflöde för dusch [liter/minut]

t_S är längd per dusch [minuter/dusch]

u_S är antal duschar per person och dag [$1/(\text{person} \cdot \text{dygn})$]

Q_{HWB} är volymflöde för handfat [liter/minut]

t_{HWB} är längd per handtvätt [minuter/tvätt]

u_{HWB} är antal handtvättar per person och dygn [$1/(\text{person} \cdot \text{dygn})$]

Då flertalet av variablerna i ekvationen berör komponenter som inte var relevanta för det aktuella systemet, till exempel disk- och tvättvatten, bortsågs dessa från.

Antal individer bestämdes till $n = 73.458$ baserat på 1 person per rum, 21 rum per våning, 6 våningar samt en genomsnittlig beläggning i Sverige 2019 på 58.3% (Statistiska Centralbyrån, u. å.). Då antalet individer är baserat på en statistisk beläggning avrundas detta ej.

Övriga variabler bestämdes till:

$Q_S = 10$ liter per minut (Swedish Institute for Standards, 2021)

$t_S = 8$ minuter (United States Environmental Protection Agency, u. å. a)

$u_S = 1$ enligt eget antagande

$Q_{HWB} = 6$ liter per minut (Government Buying Standards, u. å.)

$t_{HWB} = 20$ sekunder (Folkhälsomyndigheten, 2020)

$u_{HWB} = 8.6$ (American Cleaning Institute, 2009)

Detta resulterade i den förväntade gråvattenproduktionen

$$Y_G = 7138.85 \text{ liter per dygn}$$

Behovsberäkningar

$$D_G = n \cdot (V_T \cdot u_T + V_U \cdot u_U + V_{WM} \cdot u_{WM}) + V_{misc} \quad (4)$$

Där D_G är totalt gråvattenbehov [liter/dygn]

n är antal individer

V_T är vattenvolym för spolning av WC [liter]

u_T är antal användningar av WC per person och dygn [$1/(\text{person} \cdot \text{dygn})$]

Då flertalet av variablerna i formeln berör komponenter som inte var relevanta för det aktuella systemet, till exempel urinoar och tvättmaskin, bortsågs dessa från.

Antal individer bestämdes till $n = 73.458$ enligt resonemanget i produktionsberäkningar.

Övriga variabler bestämdes till:

$V_T = 5.5$ liter (Swedish Institute for Standards, 2021)

$u_T = 5$ (Water Footprint Calculator, 2017)

Detta resulterade i det förväntade gråvattenbehovet:

$$D_G = 2020.10 \text{ liter per dygn}$$

Beräkningarna visar på ett stort överskott av producerat gråvatten vilket innebär att behovet täcks. Överskottet blir 5118.25 liter per dygn vilket är 253% av behovet.

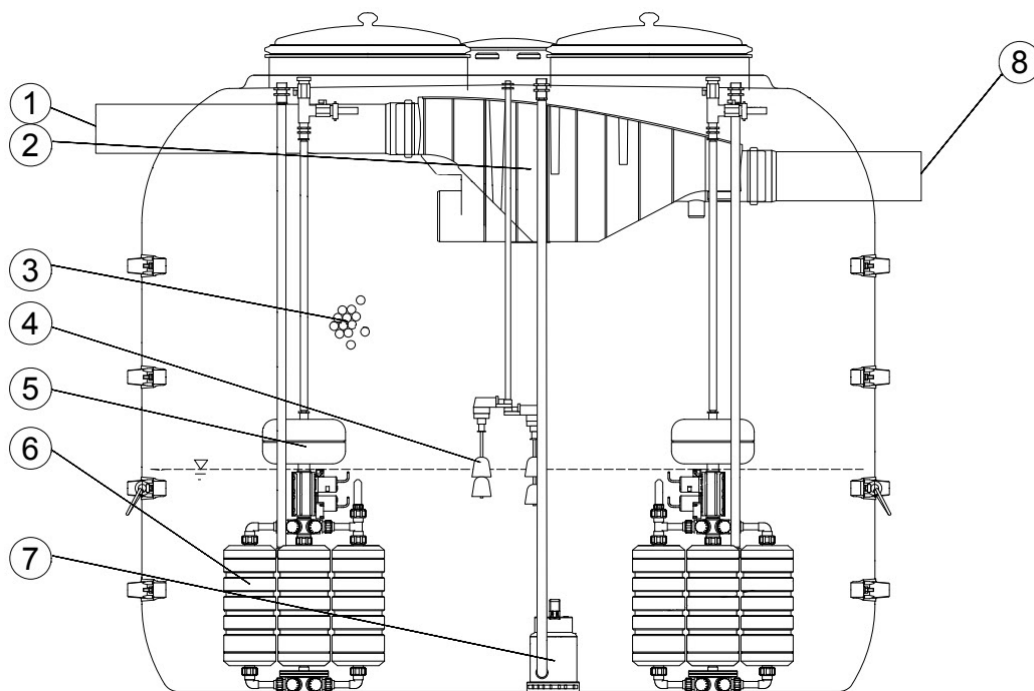
3.6 Reningsystem och pump

Inför valet av reningsverk studerades ett projekt där gråvattenåtervinning används; HSB Living Lab, ett lägenhetshus i anslutning till Chalmers campus där forskning bedrivs (HSB, u. å.). De använder sig av produkter från INTEWA, som är ett tyskt företag (INTEWA, u. å. a). Företaget har flertalet produkter för återanvändning av regnvatten och gråvatten.

INTEWA's reningsverk går att få i valfri storlek och reningsgrad om inget av deras färdigspecifierade reningsverk passar tänkt användning. Deras reningsverk för gråvatten AL-GW200 har en reningskapacitet på 200 liter/dygn och AL-GW97200 97 200 liter/dygn (INTEWA, u. å. b).

Enligt punkt 3.4 *Balansberäkning* är behovet beräknat till 2020.1 liter/dygn. Det ger möjligheten att välja antingen reningsverk AL-GW1800, med en reningskapacitet på 1800 liter/dygn, eller AL-GW3600, med en reningskapacitet på 3600 liter/dygn. För att systemet ska kunna ersätta 100% av behovet för toalettspolning i byggnaden väljs det större systemet AL-GW3600.

AL-GW3600



Figur 6 - AL-GW3600. Publicerad med tillåtelse. Se Bilaga D – AL-GW3600 ritning (INTEWA, u. å. b). 1. Gråvattenintag. 2. Förfilter för gråvatten. 3. Tillväxtkroppar. 4. Flytande strömbrytare för pump. 5. Membranstation - Håller sex stycken membran per station. 6. Membran - Medel porstorlek 0.02 µm. 7. Slampump. 8. Överflödsskydd för tanken.

Bioreaktortanken har en volym på 5000 liter där biologisk nedbrytning av näringsämnen sker (INTEWA, u. å. f). Innan tanken sker en grovfiltrering av vattnet för att föra bort större

organiska material. Gråvattnet ansamlas i tanken tills nivån överstiger inflödesnivån. Därefter rinner vattnet ut genom förfiltret.

Bakterietillväxt sker på de tillförda tillväxtkropparna som har en specifik yta av $320 \text{ m}^2/\text{m}^3$, vilket betyder att för varje m^3 av tillväxtkroppar finns det 320 m^2 för bakterier att växa på (INTEWA, u. å. d). Vattnet syresätts med två luftpumpar för att motverka anaeroba nedbrytningsprocesser.



Figur 7 - Tillväxtkropp (INTEWA, u. å. d). Publicerad med tillåtelse.

Membranstationen är utformad så att 1-6 separata filter kan monteras, se figur 8 och figur 9 (INTEWA, u. å. e). Filtret har en medel porstorlek på $0.02 \mu\text{m}$ och varje filter har en filtreringskapacitet av 300 liter/dygn. Det ger en total kapacitet på 3600 liter/dygn med två membranstationer enligt specifikation. Systemet kan modifieras till fördel för miljöberäkningarna genom att endast använda totalt sju filter vilket ger ett överskott på 3.96% av det beräknade behovet. Livslängden av de enskilda filtren är 10 år.



Figur 8 - AQUALOOP Membranstation - Utrustad med ett membran (INTEWA, u. å. e). Publicerad med tillåtelse.



Figur 9 - AQUALOOP Membranstation - utrustad med sex membran (INTEWA, u. å. e). Publicerad med tillåtelse.

Förvaringstank

Till systemet ska även en förvaringstank dimensioneras. För att göra detta används det rekommenderade värdet på 0.7 liter/användare och enligt balansberäkningens beräknade beläggning på 73.458 individer resulterar det i en förvaringstank med storleken 51.42 liter

(Knutsson & Knutsson, 2020). Då den minsta storleken som INTEWA erbjuder är 115 liter används denna.

Pump

Systemet som designats behöver en pump för att driva flödet till ett tryck som ger det mest utsatta tappstället ett övertryck av 100 kPa. Alltså krävs en pump som åstadkommer minst $100 \text{ kPa} + 271.27 \text{ kPa} = 371.27 \text{ kPa}$. Pumpen behöver även kunna leverera vatten till en plushöjd av 19.3 meter mellan våning I och C.

I INTEWA's produksortiment finns flertalet pumpar, dock endast en som klarar specifikationerna som krävs, och det är RAINMASTER Favorit-SC 40. Pumpens maxtryck är specificerat till 5.5 Bar (550 kPa) och den maximala installationshöjden under konsument är 30 meter.

4. Genomförande och resultat

Nedan beskrivs genomförandet och resultaten av arbetet.

4.1 Litteraturstudie

Studier gjordes av litteratur som behandlar gråvatten, metoder för gråvattenrening- och återvinning, samt tidigare projekt där dessa metoder använts i praktiken. För att beräkna och jämföra miljöpåverkan studerades även LCA-analys som baseras på CO₂-ekvivalenter.

Rådande och kommande lagkrav gällande återanvändning av gråvatten undersöktes i syfte att få kännedom om eventuella begränsningar av denna teknik. SS-EN 16941–2:2021 är en nyligen (januari 2021) utkommen europastandard som även gäller som svensk standard. Standarden berör hanteringen av lokala bruksvattensystem och dess andra del behandlar specifikt system för användning av renat gråvatten. Standarden behandlar bland annat kraven för olika användningsområden så som till exempel toalettspolning och bevattning. I balansberäkningen användes en metod ur standarden.

4.2 Koldioxidekvivalentberäkningar

Nedan följer resultatet av koldioxidekvivalentberäkningarna.

4.2.1 Färskvatten

Tillgängliga data för CO₂-eq för färskvatten var mycket begränsad. Det enda värde som kunnat hittas kommer från ett examensarbete vid KTH från 2015 där en mycket grundlig livscykelanalys gjorts av Norrvattens färskvattenproduktion och resulterat i värdet $43.63 \cdot 10^{-3}$ kg CO₂-eq/m³ (Jutterström, 2015). Studien visar att de faktorer som bidrar mest till utsläppen är kemikalietillverkning, energi och transport.

Det tillgodosedda behovet på 2020.1 liter per dygn enligt 3.4 *Balansberäkningar* utgör en besparing i form av ett minskat färskvattenbehov. Den minskade mängd utsläpp detta genererar beräknades utifrån vattenmängd och CO₂-eq-data. Den resulterade besparingen blev 34.38 kg CO₂-eq per år.

4.2.2 Rörsystem

Efter att rörsystemet dimensionerats och längder och dimensioner fastställt enligt 3.2 *Uppsamlingsystem* och 3.3 *Förmedlingssystem* kunde total mängd material beräknas.

Databasen *GRANTA EduPack 2020* användes för att ta fram data för de material som används i både uppsamlings- och förmedlingssystemet. Den materialdata som ansågs relevant var CO₂-eq för tillverkning av råmaterial samt extrusion, tillverkningsmetoden för rören, för att ge ett värde som även inkluderar bearbetning av materialet. På grund av att CO₂-eq-data i databasen presenteras som ett spann togs ett medelvärde fram baserat på extremvärden, se *tabell 6*. Då olika plaster fanns tillgängliga valdes polyeten som material i systemet på grund av dess relativt låga utsläpp på 2.3255 kg CO₂-eq/kg .

Tabell 6 - CO₂-eq/kg för ingående material (GRANTA EduPack software, 2020).

	DENSITET [kg/m ³]			Primary production			Extrusion			Total		
	LÄGSTA	HÖGSTA	MEDEL	LÄGSTA	HÖGSTA	MEDEL	LÄGSTA	HÖGSTA	MEDEL	LÄGSTA	HÖGSTA	MEDEL
Polyeten	939	960	949.5	1.77	1.95	1.86	0.442	0.489	0.4655	2.212	2.439	2.3255
Polyvinylklorid	1290	1460	1375	2.57	2.83	2.7	0.424	0.469	0.4465	2.994	3.299	3.1465
Polypropen	895	909	902	2.77	3.06	2.915	0.44	0.487	0.4635	3.21	3.547	3.3785
Koppar	8940	8940	8940	3.45	3.8	3.625	0.112	0.123	0.1175	3.562	3.923	3.7425
Stål - Låg kolhalt	-	-	-	2.21	2.44	2.325	-	-	-	2.21	2.44	2.325
Stål - Medel kolhalt	-	-	-	2.26	2.49	2.375	-	-	-	2.26	2.49	2.375
Stål - Hög kolhalt	-	-	-	2.26	2.49	2.375	-	-	-	2.26	2.49	2.375
Stål - Låglegerat	-	-	-	2.37	2.61	2.49	-	-	-	2.37	2.61	2.49

Mängden material och materialdata användes för att beräkna en total mängd CO₂-eq för rörsystemet. De resulterande utsläppen för de båda rörsystemen blev 1702.3 kg CO₂-eq.

4.2.3 Reningsystem

Sammanställning av reningsverkets ingående komponenter gjordes genom granskning av dokument från INTEWA's hemsida, deras onlinebutik och interna dokument från deras server. De komponenter där materialfördelningen eller innehållet inte kunde bedömas bortsågs från genom märkningen *okänt*. För stålkomponenter saknades både kolhalt samt legeringsgrad. Därför togs ett genomsnitt av värden från EduPack för CO₂-eq beräkningar för reningsverket.

Tabell 7 - AL-GW3600, ingående komponenter (INTEWA, u. å. c).

NAMN	ARTIKELNUMMER	ANTAL	VIKT [kg/st]	STÖRSTA MATERIALKOMponent (Sett till vikt)
PURAIN DN150 Grovfilter	210143	1	7.4	Polypropen
Bioreaktor tank - INT-5000	-	1	240	Polyeten
Membran station	230005	2	12.5	Okänt
Membran hylsor	230010	7	1.6	Polyeten
Tillväxkroppar 360 liter	230025	12	4.5	Högdensitets polyeten
Luftare - AL-BL200	230055	2	12.5	Okänt
Slampump - VIP130-6	200085	1	3.94	Okänt
AQUALOOP 115 liter tank	230067	1	6.5	Polyeten
Pump - RAINMASTER Favorit 40 SC	220079	1	31.2	Okänt
Flytande strömbrytare	600295	1	2.1	Polypropen
Expansionkärl - AG05	200086	1	1.6	Stål
Övriga komponenter - kopplingsrör etc.	-	1	-	-

CO₂-eq-beräkningar

Genom att använda mängdsammanställningen i *tabell 7* och materialdata från *tabell 6* beräknades total mängd CO₂-eq för reningsystemet. De resulterande utsläppen för reningsystemet blev 760.8 kg CO₂-eq.

4.2.4 Värmeåtervinning

För att förbättra både den miljömässiga och den ekonomiska återbetalningstiden undersöktes möjligheten att använda en värmeväxlare som återvinner värmen från den totala mängden gråvatten som produceras. Den beräknades teoretiskt genom att en verkningsgrad för värmeväxlaren antogs.

Värmen som återvinns avses att användas för att förvärma vattnen som går till en varmvattenberedare med direktverkande el. Ekvationerna som används ses nedan.

$$\dot{Q} = \eta \cdot \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = \eta \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{Gr\ddot{a},in} - T_{Gr\ddot{a},ut}) \quad (5)$$

Där $\eta = 0.35$ (Antaget värde) = Verkningsgrad av värmeväxlare
 $\dot{V} = 7138.85 \text{ l/dygn} = 8.26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = \text{Volymflöde}$
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = \text{Densitet av vatten}$
 $C_p = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} = \text{Värmecapacitet för vatten}$ (Cengel et al., 2017)
 $T_{Grå,in} = 35^\circ\text{C}$ (Dudkiewicz et al., 2021) = Ingående gråvattentemperatur
 $T_{Grå,ut} = 25^\circ\text{C}$ (Antaget värde) = Utgående gråvattentemperatur

Med dessa beräknade och antagna värden återvinns alltså momentant 1.2 kW värme från gråvattnet som annars hade gått förlorat. Totalt under ett år resulterar detta i värmeenergin 10 639.86 kWh.

Elproduktion

Utsläpp från nordisk elmix uppgick i snitt mellan 2016 och 2018 till $90.4 \cdot 10^{-3} \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ med hänsyn till import och export av el utanför Norden (Sandgren & Nilsson, 2021). Dock var enligt Electricitymap, en tjänst som mäter utsläpp från elproduktion i realtid över flera länder i världen, det momentana utsläppet av $\text{CO}_2\text{-eq}$ från svensk elproduktion den 7/5 2021 runt $50 \cdot 10^{-3} \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ (Electricitymap, 2021). Då ett lägre utsläppsvärde för el ger en längre miljömässig återbetalningstid används $50 \cdot 10^{-3} \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ i beräkningarna men även högre utsläpp behandlas senare i känslighetsanalysen.

Genom att sammanställa dessa värden med elbesparingar från värmeåtervinning fås att värmeväxlaren ger en utsläppsbesparing på 532 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ per år, utan hänsyn till drift av gråvattenreningsystemet.

4.2.5 Sammanställning

Sammanställning av $\text{CO}_2\text{-eq}$ för komponenterna i systemet gav ett totalt utsläpp av 2463.1 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$, uppdelning mellan de olika delarna ses i *tabell 8*.

Tabell 8 - Koldioxiekvivalenter för reningsverk, uppsamlings- och förmedlingssystem.

	MATERIAL	TOT. VOLYM [m ³]	DENSITET [kg/m ³]	VIKT [kg]	CO ₂ -eq/KG [kg/kg]	TOT. CO ₂ EQ [kg]
Uppsamlingsystem	PE(Polyeten)	0.68	949.5	644.45	2.326	1498.7
Förmedlingssystem	PE(Polyeten)	0.09	949.5	87.57	2.326	203.6
Reningsverk	Polypropen			9.5	3.379	32.1
	PE(Polyeten)			311.7	2.326	724.9
	Stål			1.6	2.391	3.83
						2463.1

Återbetalningstiden beräknades med följande ekvation.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{CO_2eq \text{ för system}}{CO_2eq/m^3 \text{ för vatten} \cdot m^3 \text{ återvunnet vatten/år} + CO_2eq/kWh \text{ för el} \cdot \text{antal kWh/år (vid } \eta = 100\%) \cdot \eta} \quad (6)$$

Detta med en besparing av 34.38 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ per år för färskvatten(utan värmeåtervinning) ger en miljömässig återbetalningstid på 71 år och 235 dagar, se *tabell 9*. Med värmeåtervinning blir besparingen i stället 566.4 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ per år vilket är väsentligt högre och ger en miljömässig återbetalningstid på 4 år och 128 dagar.

Tabell 9 - Miljömässig återbetalningstid med och utan värmeåtervinning.

	FLÖDE [m ³]	ANVÄNDNINGSGRAD [%]	ÅTERBETALNINGSTID [år]
Utan värmeåtervinning	2.02	96.2%	71.6
Med värmeåtervinning	2.02	96.2%	4.3

4.3 Ekonomi

Färskvatten

Vattenpriser varierar över Sverige. Enligt Svenskt Vattens statistik över VA-taxor 2020 sträcker sig priset från 12.3 kronor per kubikmeter i Solna kommun till 65.1 kronor per kubikmeter i Nordanstig kommun. Dessa siffror är baserade på ett typhus som definieras som:

”Typhus B’ är ett flerbostadshus som är anslutet till vatten, spill- och dagvatten. 15 lägenheter, 1000 m² våningsyta, 800 m² tomtyta, vattenförbrukning 2000 m³/år. 2 st parallellkopplade vattenmätare q_n 2,5 m³/h.” (Svenskt Vatten, 2020).

Då detta ansågs representera hotell Västerport bäst av de tillgängliga alternativen har dessa siffror använts för att beräkna vattenkostnader.

Enligt denna definition var vattenpriset 36.3 kronor per kubikmeter i Varberg kommun år 2020. Baserat på vattenbesparingen 2.02 kubikmeter per dygn som grävattenåtervinningssystemet ger enligt 3.4 *Balansberäkningar* ger detta kostnadsminskningen 73.33 kronor per dygn vilket ger en årlig besparing av 26 764 kronor.

Elektricitet

Besparing av el från värmeåtervinning kan uppskattas till 1.54 kronor per kWh (Statistiska Centralbyrån, 2020). Baserat på energibesparingen från värmeåtervinning av den totalt producerade mängden grävatten, 29.15 kWh per dygn, ger kostnadsminskningen 44.90 kronor per dygn vilket ger en årlig besparing av 16 386 kronor.

Systemet

Systemets kostnad behandlar endast reningsverkets komponenter och behandlar således inte kostnad för rören i systemet då tillgängliga prisuppgifter varierar kraftigt.

Sammanställningen av kostnaderna för komponenterna gjordes med hjälp av INTEWA's onlinebutik och priserna presenteras exklusive moms, se *tabell 10*.

Tabell 10 - Ingående komponenter reningsverk med inköpspris.

NAMN	ARTIKELNUMMER	ANTAL	PRIS [EXKL. MOMS]	TOTALPRIS [EXKL. MOMS]
PURAIN DN150 Grovfilter	210143	1	495	495€
Bioreaktor tank - INT-5000	-	1	On request	On request
Membran station	230005	2	1370	2,740€
Membran hylsor	230010	7	844	5,908€
Tillväxkroppar 360 liter	230025	12	43	516€
Luftare - AL-BL200	230055	2	415	830€
Slampump - VIP130-6	200085	1	157	157€
AQUALOOP 115 liter tank	230067	1	369	369€
Pump - RAINMASTER Favorit 40 SC	220079	1	2256	2,256€
Flytande strömbrytare	600295	1	59	59€
Expansionkärl - AG05	200086	1	62	62€
Övriga komponenter - kopplingsrör etc.	-	1	200	200€
				13,592€

I skrivande stund står euron i 10.14 kronor, vilket ger en total kostnad av 137 822.88 kronor (Avanza, 2021).

Sammanställning

Återbetalningstiden beräknades med följande ekvation.

Återbetalningstid

$$= \frac{\text{kostnad för system}}{\text{SEK/m}^3 \text{ för vatten} \cdot \text{m}^3 \text{ återvunnet vatten/år} + \text{SEK/kWh för el} \cdot \text{antal kWh/år (vid } \eta = 100\%) \cdot \eta} \quad (7)$$

Detta med en besparing av 26 764 kronor från färskvatten ger en återbetalningstid på 5 år och 55 dagar. Om besparingen från minskad användning av el även räknas med beräknas återbetalningstiden till 3 år och 69 dagar, se *tabell 11*.

Tabell 11 - Ekonomisk återbetalningstid med och utan värmeåtervinning.

	FLÖDE [m ³]	ANVÄNDNINGSGRAD [%]	ÅTERBETALNINGSTID [år]
Utan värmeåtervinning	2.02	96.2%	5.1
Med värmeåtervinning	2.02	96.2%	3.2

4.4 Känslighetsanalys

Baserat på resultaten är det inte försvarbart att inte använda värmeåtervinning. Därför utgår känslighetsanalysen från att en värmeväxlare för återvinning av värme från gråvattnet används.

De återbetalningstider som beräknats med oförändrade värden från tidigare kapitel är markerade i grått. De värden som är markerade i grönt och rött representerar kortaste respektive längsta återbetalningstid för analysen.

För den miljömässiga återbetalningstiden har *ekvation 6* använts och för den ekonomiska återbetalningstiden har *ekvation 7* använts.

Vatten

I beräkningarna nedan har både koldioxidekvivalenter och kostnad varierats för systemet och per kubikmeter färskvatten. Detta för att granska inverkan av de värden som använts.

För beräkningarna har värden från 4.2.4 Värmeåtervinning använts.

Tabell 12 - Miljömässig återbetalningstid i antal år med avseende på varierande koldioxidekvivalenter för systemet och per kubikmeter färskvatten.

			KOLDIOXIDEKVIVALENTER PER KUBIKMETER VATTEN [10^{-3} kg CO ₂ eq/m ³]				
			-25%	0%	+25%	+50%	+100%
			34.97	46.63	58.29	69.95	93.26
KOLDIOXIDEKVIVALENTER FÖR SYSTEMET [kg CO ₂ eq/kg]	-25%	1847.32	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1
	0%	2463.10	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1
	+25%	3078.87	5.5	5.4	5.4	5.3	5.1
	+50%	3694.65	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2
	+100%	4926.20	8.8	8.7	8.6	8.4	8.2

Tabell 13 - Ekonomisk återbetalningstid i antal år med avseende på varierande kostnad för systemet och per kubikmeter färskvatten.

			KOSTNAD PER KUBIKMETER VATTEN [SEK/m ³]				
			-25%	0%	+25%	+50%	+100%
			27.23	36.30	45.38	54.45	72.60
KOSTNAD FÖR SYSTEMET [SEK]	-25%	103367	2.8	2.4	2.1	1.8	1.5
	0%	137823	3.8	3.2	2.8	2.4	2.0
	+25%	172279	4.7	4.0	3.5	3.0	2.5
	+50%	206734	5.7	4.8	4.1	3.7	3.0
	+100%	275646	7.6	6.4	5.5	4.9	3.9

Som ett exempel på högre och lägre kostnad per kubikmeter färskvatten kan till exempel Nordanstig eller Solna kommuns kostnad av 65.1 respektive 12.3 kronor per kubikmeter användas (Svenskt Vatten, 2020).

Elektricitet

I beräkningarna nedan har både koldioxidekvivalenter och kostnad varierats för systemet och per kWh elektricitet. Detta för att granska inverkan av de värden som använts.

För beräkningarna har värden från 4.2.4 Värmeåtervinning använts.

Tabell 14 - Miljömässig återbetalningstid i antal år med avseende på varierande koldioxidekvivalenter för systemet och per kWh elektricitet.

			KOLDIOXIDEKVIVALENTER PER kWh EL [10^{-3} kg CO ₂ eq/kWh]				
			0%	+150%	+500%	+750%	+1500%
			50.00	125.00	300.00	425.00	800.00
KOLDIOXIDEKVIVALENTER FÖR SYSTEMET [kg CO ₂ eq/kg]	-25%	1847.32	3.3	1.4	0.6	0.4	0.2
	0%	2463.10	4.3	1.8	0.8	0.5	0.3
	+25%	3078.87	5.4	2.3	1.0	0.7	0.4
	+50%	3694.65	6.5	2.7	1.1	0.8	0.4
	+100%	4926.20	8.7	3.6	1.5	1.1	0.6

Som ett exempel på högre utsläpp från elproduktion kan till exempel Polens genomsnittliga utsläpp på $719 \cdot 10^{-3}$ kg CO₂eq per kWh 2019 användas (Europeiska miljöbyrån, 2020).

Tabell 15 - Ekonomisk återbetalningstid i antal år med avseende på varierande kostnad för systemet och per kWh elektricitet.

			KOSTNAD PER kWh EL [SEK/kWh]				
			-25%	0%	+25%	+50%	+100%
			1.16	1.54	1.93	2.31	3.08
KOSTNAD FÖR SYSTEMET [SEK]	-25%	103367	2.6	2.4	2.2	2.0	1.7
	0%	137823	3.5	3.2	2.9	2.7	2.3
	+25%	172279	4.4	4.0	3.6	3.4	2.9
	+50%	206734	5.3	4.8	4.4	4.0	3.5
	+100%	275646	7.1	6.4	5.8	5.4	4.6

Värmeåtervinning

I beräkningarna nedan har koldioxidekvivalenter och kostnad för systemet varierats för att jämföras med olika verkningsgrader för värmeväxlaren. Detta för att granska inverkan av de värden som använts.

För beräkningarna har koldioxidekvivalenter för både vatten och elektricitet använts från 4.2 Koldioxidekvivalentberäkningar.

Tabell 16 - Miljömässig återbetalningstid i antal år med avseende på varierande koldioxidekvivalenter för systemet och verkningsgrad av värmeväxlaren.

			VERKNINGSGRAD VÄRMEVÄXLARE [%]				
			15%	25%	35%	45%	50%
KOLDIOXIDEKVIVALENTER FÖR SYSTEMET [kg CO ₂ eq/kg]	-25%	1847.32	7.0	4.5	3.3	2.6	2.3
	0%	2463.10	9.4	5.9	4.3	3.4	3.1
	+25%	3078.87	11.7	7.4	5.4	4.3	3.9
	+50%	3694.65	14.1	8.9	6.5	5.1	4.7
	+100%	4926.20	18.8	11.9	8.7	6.9	6.2

Tabell 17 - Ekonomisk återbetalningstid i antal år med avseende på varierande kostnad för systemet och verkningsgrad av värmeväxlaren.

			VERKNINGSGRAD VÄRMEVÄXLARE [%]				
			15%	25%	35%	45%	50%
KOSTNAD FÖR SYSTEMET [SEK]	-25%	103367	3.1	2.7	2.4	2.2	2.1
	0%	137823	4.1	3.6	3.2	2.9	2.7
	+25%	172279	5.1	4.5	4.0	3.6	3.4
	+50%	206734	6.1	5.4	4.8	4.3	4.1
	+100%	275646	8.2	7.2	6.4	5.8	5.5

Kompletterande analys

Från känslighetsanalysen kan ses att av de två metoderna systemet kan kompenseras för har CO₂-eq per kWh den största inverkan på den miljömässiga återbetalningstiden. Kapaciteten till att kompensera för systemet genom att minska elförbrukning är däremot direkt kopplad till verkningsgraden av värmeväxlaren. Därför jämfördes även återbetalningstiden vid variation av dessa värden. I beräkningarna är den tidigare beräknade CO₂-eq för systemet statisk.

Tabell 18 - Miljömässig återbetalningstid i antal år med avseende på varierande koldioxidkvivalenter för kWh av elektricitet och verkningsgrad av värmepumpen.

			VERKNINGSGRAD VÄRMEVÄXLARE [%]				
			15%	25%	35%	45%	50%
KOLDIOXIDEKVIVALENTER PER kWh EL [10 ⁻³ kg CO ₂ eq/kWh]	0%	50	9.4	5.9	4.3	3.4	3.1
	+150%	125	4.1	2.5	1.8	1.4	1.3
	+500%	300	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5
	+750%	425	1.2	0.8	0.5	0.4	0.4
	+1500%	800	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2

Då dessa två variabler hade störst inverkan på den miljömässiga återbetalningstiden granskades även dessa för den ekonomiska återbetalningstiden.

Tabell 19 - Ekonomisk återbetalningstid i antal år med avseende på varierande kostnad för kWh av elektricitet och verkningsgrad av värmepumpen.

			VERKNINGSGRAD VÄRMEVÄXLARE [%]				
			15%	25%	35%	45%	50%
KOSTNAD PER kWh EL [SEK/kWh]	-25%	1.16	4.3	3.9	3.5	3.2	3.1
	0%	1.54	4.1	3.6	3.2	2.9	2.7
	+25%	1.93	3.9	3.3	2.9	2.6	2.5
	+50%	2.31	3.7	3.1	2.7	2.4	2.2
	+100%	3.08	3.4	2.7	2.3	2.0	1.9

5. Diskussion

Det finns många faktorer som påverkar resultaten i detta arbete. Den data som använts är av varierande kvalitet och en del antaganden och avgränsningar har behövt göras. För att ta hänsyn till osäkerheter kring just indata har känslighetsanalysen utförts där resultaten presenteras som ett troligt spann i stället för en absolut siffra, och kompenserar på så sätt delvis för den data som saknas eller är osäker. Trots att känslighetsanalysen ger en bild av hur resultatet påverkas av förändrade indata och vilka data som ger störst påverkan bör det nämnas varför dessa data kan variera.

Att få fram en siffra för CO₂-eq för färskvatten visade sig vara en av de största utmaningarna i projektet. Efter att ha tillfrågat flertalet auktoriteter inom området och gjort noggranna eftersökningar kunde endast en siffra hittas som kom från ett masterexamensarbete. Trovärdigheten av denna bör naturligtvis ifrågasättas då inga övriga data finns att jämföra med.

En annan viktig faktor är den data som använts angående produktion och konsumtion av gråvatten i hotellet. Då ingen data för användning i just hotell kunnat hittas har data för vardaglig användning av vatten för hushållsbruk använts. Sunt förnuft säger oss att användningsmönster troligen ser annorlunda ut i ett hotell. Dock har bedömningen gjorts att hellre basera beräkningarna på tillgängliga data än egna, sannolikt felaktiga, antaganden om hur den verkliga vattenanvändningen i ett hotell ser ut.

För vissa komponenter i systemet har inga tillförlitliga data kunnat hittas. Exempelvis saknas materialdata för vissa komponenter i reningsverket och inget pris för polyetenrör har kunnat fastställas då priser varierar med offerter från leverantörer baserat på beställd mängd. I stället för att göra en egen uppskattning av saknade data har dessa utelämnats.

Det använda elpriset gäller hushållsel och kan därför skilja sig från det rätta priset för detta projekt. Hade fjärrvärme använts för varmvattenproduktion hade besparingarna varit mindre då fjärrvärme är avsevärt billigare än el per kWh. Även priset för vatten är ungefärligt och dessutom baserat på ett flerbostadshus då detta var det mest närliggande alternativet.

Värmeåtervinning visade sig vara den faktor som har störst påverkan på resultatet gällande miljöpåverkan. I samråd med handledare valdes en rimlig verkningsgrad och ett antal verkningsgrader undersöktes även i känslighetsanalysen för att ge en bild av relationen mellan dessa och den miljömässiga återbetalningstiden. Den högsta verkningsgraden som användes i beräkningar var 50%. Det finns dock producenter av värmeväxlare, dedikerade för värmeåtervinning av gråvatten, som uppger en verkningsgrad upp till 85%. Det bör dock nämnas att denna höga effektivitet endast går att nå vid optimala förhållanden och därför har detta ansetts osannolikt för projektet.

Då projekteringsstadiet för Hotell Västerport nått sitt slutskede när detta projekt genomfördes är gråvattenåtervinningssystemet som tagits fram i detta projekt i högsta grad teoretiskt. Eftersom planlösningar och schakt redan bestämts i storlek och placering finns i själva verket ingen plats kvar för ytterligare installationer. För att kunna sätta in ett sådant system hade byggnaden delvis behövts ritas om från grunden. Interaktionen med Hotell Västerport som byggnad får därför anses befinna sig i någon slags gränsland mellan fiktion och verklighet där vissa aspekter av det verkliga byggnadsprojektet tagits med och vissa valts bort.

Ett exempel på detta är placeringen av reningsverk och tankar. Om systemet skulle använts på riktigt hade det sannolikt använts i hela byggnaden och reningsverk och tankar troligtvis placerats i källaren. För att göra dimensioneringen av systemet så verklighetstrogen som möjligt har ändå viss möda lagts på att hitta en rimlig placering inom den valda avgränsningen.

Ett annat exempel är att schaktens storlek ignorerats i projektet. I själva verket hade dessa behövt göras större för att rymma både det existerande vattenförsörjningssystemet och det tillkommande gråvattenåtervinningssystemet. Detta hade påverkat den totala rumsarean i hotellet, vilket är starkt sammankopplat med lönsamheten och således skapat nya problem som måste lösas.

En annan avgränsning som gjordes var att enbart studera tillverkningen av systemets ingående komponenter och inte installationen av det då det blir svårt att särskilja vilken påverkan just denna del av byggnaden skulle ha under uppförandet. Även drift och underhåll bortsågs från då systemet är relativt självgående och till exempel har automatisk backspolning. Självklart ökar dessa faktorer såväl miljöpåverkan som kostnaden. Speciellt installationskostnaden kan påverka det ekonomiska resultatet relativt mycket, men då den ekonomiska kalkylen varit sekundär i projektet och dessa kostnader kan vara svåra att uppskatta har det bortsetts från.

Miljöpåverkan avser i detta projekt endast utsläpp av växthusgaser. Detta kan vara bedrägligt då utsläpp av gifter och partiklar också har avsevärd påverkan på både människan och naturen.

Detta projekt inleddes med idén av att toalettspolning med färskvatten kändes som slösaktig användning av resurser och syftade därför till att undersöka om det är möjligt att göra miljömässiga och ekonomiska besparingar genom att undvika detta. Resultaten visar att det går att göra besparingar på detta sätt, men det tar lång tid att kompensera för den miljömässiga investeringen som krävs. Den ekonomiska investeringen kan kompenseras betydligt snabbare, men det bör återigen tas i åtanke att kostnader för installation och drift inte tagits med i beräkningarna.

Vad som är en rimlig eller önskvärd återbetalningstid beror så klart på många olika saker och det ligger kanske starkare incitament bakom viljan att ha en kort ekonomisk återbetalningstid än en miljömässig. Det skulle kunna gå att argumentera för att en miljömässig återbetalningstid är rimlig så länge den är kortare än systemets livslängd. En ekonomisk återbetalningstid behöver däremot sannolikt vara kortare än så för att någon ska vilja ta sig an investeringen. Troligtvis är miljövinster av toalettspolning med gråvatten för små för att samhällets aktörer ska vilja använda sig av tekniken i den här typen av byggnader.

Det visade sig att det i det här fallet i stället var värmeåtervinning som gav de stora besparingarna. Värmeväxlaren påverkar resultatet i den höga grad att den blir den avgörande faktorn för att korta ner den miljömässiga återbetalningstiden till överkomliga nivåer. Detta visar att även om miljöbesparingen av att spola toaletter med gråvatten inte blir så stor är det definitivt fördelaktigt att separera gråvatten från övrigt spillvatten i ett eget uppsamlingssystem och åtminstone ta tillvara på värmen.

Gråvatten har många andra användningsområden utöver toalettspolning. Tvättmaskiner är i ett hotell ett bra exempel på både en stor producent och potentiell konsument av renat gråvatten. Även om detaljerna kring hur gråvatten kan nyttjas på detta sätt inte är

undersökta i detta projekt är det sannolikt att om detta tagits med i beräkningarna hade, med kraftigt ökade flöden, systemets återbetalningstider minskat avsevärt. Detta då kostnaden för ett större reningsverk inte så mycket större, men besparingarna från återvunnet gråvatten ökar mycket. Det går även att återanvända noggrant renat gråvatten i tappställen som duschar och handfat även om det kan anses kontroversiellt och troligtvis begränsas av såväl lagkrav som allmän motvilja mot den typen av användningsområden.

När det gäller gråvattenåtervinning för enbart spolning i toaletter kan ett system som kräver ett betydligt mindre reningsverk och kortare rörlängder vara tänkbart. I detta fall hade miljöpåverkan från tillverkningen minskat avsevärt även om användandet så klart också minskar. Ett exempel på detta är enfamiljshus. Om det är en fastighet med egen brunn kan det vara än mer aktuellt då brunnar kan löpa risk att torka ut.

Dock är kanske den viktigaste gråvattenapplikationen av alla den potentiella användningen i de delar av världen där vattenbrist av olika anledningar utgör ett reellt, livshotande problem. I dessa fall blir ekonomisk och miljömässig återbetalningstid mindre angelägen. När vatten blir en knapp resurs kan alla besparingar göra en betydelsefull skillnad. På grund av de klimatförändringar som sker just nu lär torka och vattenbrist bli allt vanligare på allt fler platser i världen. Att investera i gråvattenåtervinningsteknik är därför ett bra sätt att förebygga katastrofer och minska mänskligt lidande.

6. Slutsats

Projektets syfte var att dimensionera ett gråvattenreningssystem med avsikt att undersöka hur lång tid det skulle ta för detta att återbetala sig miljömässigt och ekonomiskt genom att spara vatten och el.

Projektet visade att om en värmeväxlare med tillräcklig verkningsgrad används skulle systemet betala av sig inom tio år, både miljömässigt och ekonomiskt. Dock är den miljöpåverkan som uppkommer av att konstruera och montera det extra förmedlingssystemet i det aktuella tillämpningsobjektet (Hotell Västerport) sannolikt för stor om det inte ska användas till mer än toalettspolning.

Det finns däremot definitivt anledning att separera gråvatten- och svartvattenflöden. Även om gråvattnet sedan spolas ut i det gemensamma avloppsnätet finns möjligheten att installera en värmeväxlare. Möjligheten att återanvända gråvatten i olika utsträckning finns då även tillgänglig vid behov.

Projektet har givit många insikter om gråvattenreningsteknik. Att använda färskvatten endast en gång är att ödsla en resurs som kan nyttjas fler gånger. Mängden material i relation till graden av användning av gråvatten blir central för återbetalningstidernas längd och dessa faktorer kommer att variera mellan olika typer av byggnader. Gråvattenåtervinning för spolning av toaletter kan därför inte avfärdas i allmänhet. I en byggnad med en annan utformning hade projektet eventuellt fått en kortare avbetalningstid både miljömässigt och ekonomiskt.

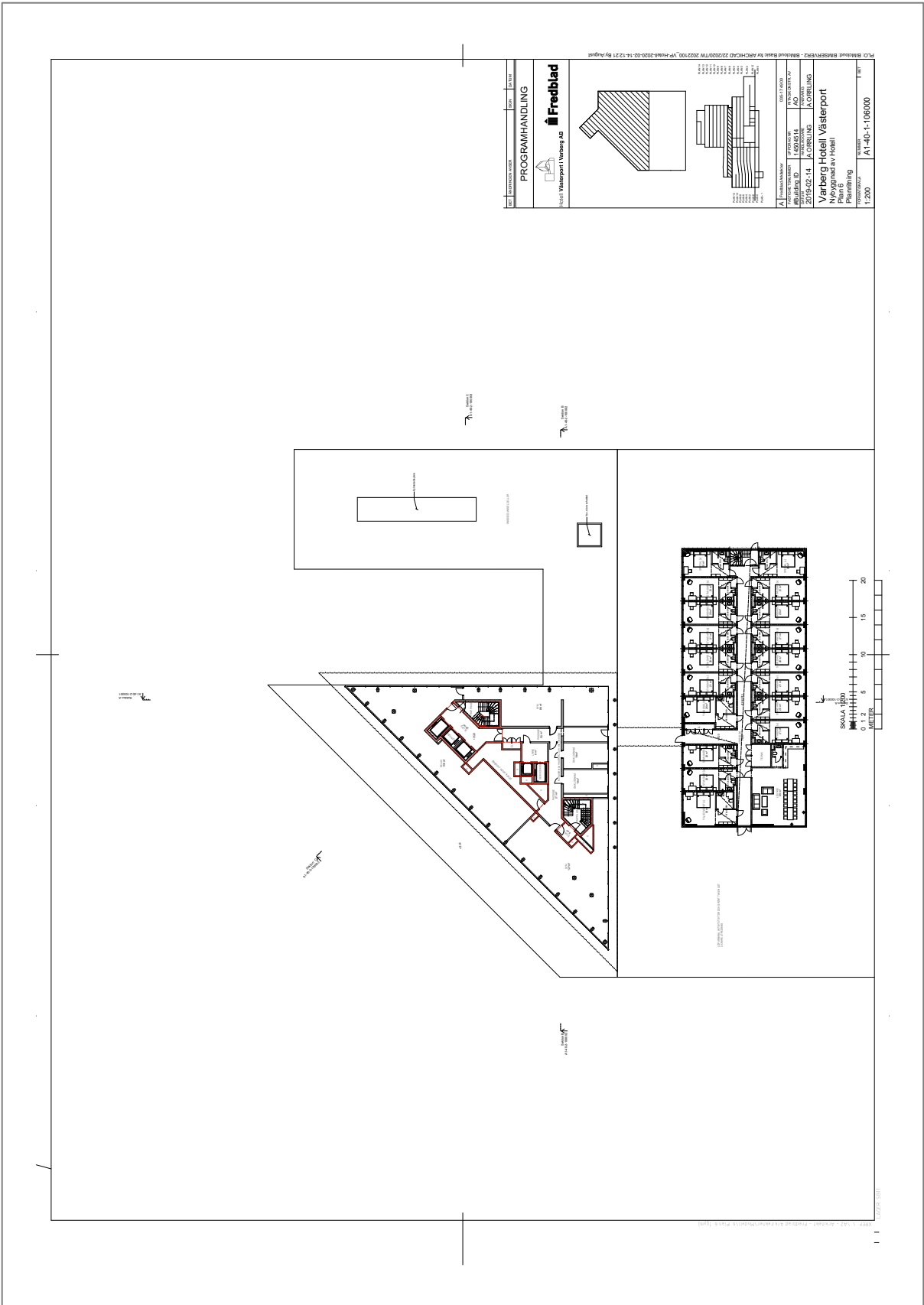
Förhoppningen är att detta projekt gjort den nyfikne tillräckligt nyfiken för att överväga att utnyttja denna teknik.

Referenser

- American Cleaning Institute. (2009). *2009 NATIONAL CLEAN HANDS REPORT CARD® SURVEY FINDINGS*. Hämtat från <https://www.cleaninginstitute.org/newsroom/surveys/92109-summary> den 9 mars 2021
- Avanza. (den 14 maj 2021). *EUR/SEK*. Hämtat från Avanza: <https://www.avanza.se/index/om-indexet.html/18998/eur-sek> den 14 maj 2021
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). *Reassessing the projections of the World Water Development*. Hämtat från <https://www.nature.com/articles/s41545-019-0039-9.pdf> den 19 januari 2021
- Cengel, Y. A., Cimbala, J., & Turner, R. H. (2017). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences* (5. uppl.). McGraw-Hill Education.
- Dudkiewicz, E., Rajski, K., Ludwińska, A., & Ara Sayegh, M. (2020). Environmental and energy saving potential from greywater in hotels. *Science of The Total Environment*, 761, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143220.
- Electricitymap. (den 07 maj 2021). Hämtat från Sverige: <https://www.electricitymap.org/zone/SE> den 7 maj 2021
- Europeiska miljöbyrån. (2018). *Vattenförbrukningen i Europa – stora utmaningar sett till både mängd och kvalitet*. Hämtat från <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/miljosignaler-2018/artiklar/vattenforbrukningen-i-europa-2013-stora> den 12 februari 2021
- Europeiska miljöbyrån. (2020). *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*. Hämtat från <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-3/assessment> den 13 maj 2021
- Folkhälsomyndigheten. (2020). *How to wash your hands*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/h/how-to-wash-your-hands/> den 9 mars 2021
- Government Buying Standards. (u. å.). *Government Buying Standards for showers, taps, toilets and urinals*. Hämtat från https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/482120/gbs-taps-automatic-sprays-showers-urinal-2015.pdf den 9 mars 2021
- GRANTA EduPack software. (2020). Cambridge: Granta Design Limited.
- Greenhouse Gas Protocol. (2013). *Required Greenhouse Gases In Inventories*. Hämtat från https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Required%20gases%20and%20GWP%20values_0.pdf den 19 01 2020
- Greenhouse Gas Protocol. (2021). *Global Warming Potential Values*. Hämtat från https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf den 2 Juni 2021
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Freidler, E. (2015). *Greywater Reuse*. Boca Raton: CRC Press.

- HSB. (u. å.). *Återvinning av Gråvatten*. Hämtat från HSB:
<https://www.hsb.se/hsblivinglab/projekt-i-huset/atervinninggravatten/> den 14 mars 2021
- INTEWA. (u. å. a). *About INTEWA*. Hämtat från <https://www.intewa.com/en/company> den 27 april 2021
- INTEWA. (u. å. b). *Commercial greywater recycling systems*. Hämtat från
<https://www.intewa.com/en/water-treatment/commercial/greywater-recycling/> den 27 april 2021
- INTEWA. (u. å. c). *Intewa Store*. Hämtat från https://de.intewa-store.com/de_en/ den 12 april 2021
- INTEWA. (u. å. d). *Intewa Store - AQUALOOP growth bodies 30 Litre*. Hämtat från
https://de.intewa-store.com/de_en/aqualoop-fullkorper-30-liter.html den 26 mars 2021
- INTEWA. (u. å. e). *Intewa Store - AQUALOOP membrane station and control unit*. Hämtat från
https://de.intewa-store.com/de_en/aqualoop/aqualoop-membranstation-und-steuerung.html den 26 mars 2021
- INTEWA. (u. å. f). *Plastic inner tank series*. Hämtat från <https://www.intewa.com/en/more-products/tanks/plastic-inner-tank/> den 13 maj 2021
- Isakssons. (u. å.). *Eko by Isakssons*. Hämtat från Ekoflow:
<https://www.ekobyisakssons.com/avloppsvarmevaxlare/> den 13 maj 2021
- Jutterström, S. (2015). *Klimatpåverkan från dricksvatten - Beräkningsmodell för Norrvattens koldioxidavtryck*. [Masteruppsats, Kungliga tekniska högskolan] DiVA.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:844852/FULLTEXT01.pdf>
- Knutsson, J., & Knutsson, P. (2020). Water and energy savings from greywater reuse: a modelling scheme using disaggregated consumption data. *International Journal of Energy and Water Resources*. doi:<https://doi.org/10.1007/s42108-020-00096-z>
- Leckner, B., & Werner, S. (1980). *Värmeväxlare*. Göteborg.
- Lindahl, J., Dalenbäck, J.-O., & Löwenhielm, W. (2018). *Solel och klimatpåverkan*. Svensk solenergi.
- Naturvårdsverket. (2017). *Koldioxidekvivalenter*. Hämtat från
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/> den 19 januari 2021
- OECD. (2013). Water pricing for public supply. *Environment at a Glance 2013: OECD Indicators*. doi: <https://doi.org/10.1787/9789264185715-10-en>
- Orrling, A. (2019) *Varberg Hotell Västerport - Arkitekturritning* (Opublicerad). *Fredblad Arkitekt*
- PumpPortalen.se. (u. å.). *Rörströmningsförluster*. Hämtat från
<https://www.pumpportalen.se/pumphandboken/11-2-rorstromningsforfluster/> den 1 maj 2021

- Roth. (u. å.). *Roth Alu-LaserPlus rörsystem*. Hämtat från https://www.roth-sverige.se/se/files/005%20-%20Roth-Nordic-SE/Alu-LaserPlus_Planlegging%20og%20projektering_SE_20200515.pdf den 13 maj 2021
- Sandgren, A., & Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Stålbom, G., & Allmänna VVS Byrån AB. (2021). *Teknikhandbok VVS 2021*. Stockholm: Installatörföretagen.
- Statens planverk. (1970). *VA-byggnorm - Föreskrifter och anvisningar angående installationer för vattenförsörjning och avlopp inom fastighet*.
- Statistiska Centralbyrån. (2020). *Priser på el för hushållskunder 2007-*. Hämtat från https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/prisutvecklingen-inom-energiområdet/energipriser-pa-naturgas-och-el/pong/tabell-och-diagram/genomsnittspriser-per-halvar-2007/priser-pa-el-for-hushallskunder-2007/?fbclid=IwAR06b5zHa-2rz8rOya_ den 29 april 2021
- Statistiska Centralbyrån. (u. å.). *Occupancy rates in percent by region, Type of housing for overnight stay and year*. Hämtat från https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/en/ssd/START__NV__NV1701__NV1701A/NV1701T4Ar/table/tableViewLayout1/ den 30 april 2021
- Swedish Institute for Standards. (2006). *Vattenförsörjning – Tappvattensystem för dricksvatten – Del 3: Tappvattenrör – Förenklad metod (SS-EN 806-3:2006)*. Svenska institutet för standarder.
- Swedish Institute for Standards. (2021). *Lokala bruksvattensystem (ej dricksvatten) Del 2: System för användning av renat BDT-vatten (SS-EN 16941-2:2021)*. Svenska institutet för standarder.
- Svenskt Vatten. (2020). *Taxeundersökning*. Hämtat från Svenskt Vatten: <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/organisation-och-juridik/va-statistik/taxeundersokning/?fbclid=IwAR2pYyQkYIQyy3Y5cH4CMUYWXZ5yoS3O5eqw6USfNRnI7Kr1ObgNetu4uLE> den 6 maj 2021
- The Bureau of Reclamation. (2020, 11 04). *Water Facts - Worldwide Water Supply*. Retrieved april 2, 2021, from The Bureau of Reclamation - Central California Area office: <https://www.usbr.gov/mp/arwec/water-facts-ww-water-sup.html#:~:text=3%25%20of%20the%20earth's%20water,water%20is%20available%20fresh%20water>
- United States Environmental Protection Agency. (u. å. a). *Save Water and Energy by Showering Better*. Hämtat från https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/ws-ourwater-shower-better-learning-resource_0.pdf den 9 mars 2021
- United States Environmental Protection Agency. (u. å. b). *Understanding Global Warming Potentials*. Hämtat från <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> den 19 januari 2021
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2016). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Water Footprint Calculator. (2017). *Toilet*. Hämtat från <https://www.watercalculator.org/posts/toilet/> den 9 mars 2021



Bilaga B – Samtliga beräkningar för uppsamlingsystemet

Tabell 1B – Normflöde, längd, dimension, lutning och S-mått för referensbadrum.

ENHET	NORMFLÖDE [l/s]	TOTAL LÄNGD	DIMENSION	LUTNING [‰]	S [m]
HANDFAT	0.6	1533	DN50	13	0.0199
DUSCH	1.5	1167	DN75	13	0.0152
T TILL SCHAKT	2.1	733	DN75	13	0.0095
					0.0446

Tabell 2B – Normflöde, längd, dimension, lutning och S-mått för stående samlingsledning.

STÅENDE SAMLINGSLEDNING SCHABLONSCHAKT			
VÄNING	NORMFLÖDE [l/s]	MIN STANDARD DIM	LÄNGD [m]
C-D	2.1	DN75	3.1
D-E	4.2	DN75	3.1
E-F	6.3	DN75	3.1
F-G	8.4	DN100	3.1
G-H	10.5	DN100	3.1
H-RENING	12.6	DN100	0.5
Dimensionerande:	12.6	DN100	

Tabell 3B – Normflöde, längd, dimension, lutning och S-mått för liggande samlingsledning 1.

LIGGANDE SAMLINGSLEDNING 1							
RÖR	LÄNGD [m]	NORMFLÖDE [l/s]	MIN STANDARD DIM	MIN LUTNING [‰]	VALD DIMENSION	LUTNING [‰]	S [m]
1-2	2.3	12.6	DN110	12	DN100	12	0.028
2-21	3.7	25.2	DN120	10	DN100	22	0.081
21-A	1.3	37.8	DN130	8	DN100	30	0.039
A-RENING	1.4	163.8	DN160	10	DN150	17	0.024
3-A	4	126	DN160	8	DN150	12	0.048
4-3	2	113.4	DN150	10	DN150	10	0.020
5-4	4.7	100.8	DN150	10	DN150	10	0.047
6-5	1.9	88.2	DN150	9	DN150	9	0.017
7-6	4.6	75.6	DN150	8	DN150	8	0.037
8-7	1.9	63	DN150	7	DN100	53	0.101
9-8	7.2	50.4	DN140	7.5	DN100	42	0.302
10-9	0.5	37.8	DN130	8	DN100	30	0.015
B-10	7.9	25.2	DN120	10	DN100	22	0.174
11-B	2.8	12.6	DN110	12	DN100	12	0.034
12-B	1.3	12.6	DN110	12	DN100	12	0.016

Max fall: 0.818

(Från schakt 12)

Tabell 4B – Normflöde, längd, dimension, lutning och S-mått för liggande samlingsledning 2.

LIGGANDE SAMLINGSLEDNING 2							
RÖR	LÄNGD	NORMFLÖDE [l/s]	MIN STANDARD DIM	MIN LUTNING [‰]	VALD DIMENSION	LUTNING	S [m]
20-RENING	10.9	100.8	DN150	10	DN150	10	0.109
19-20	1.9	88.2	DN150	9	DN150	9	0.0171
18-19	4.8	75.6	DN150	8	DN150	8	0.0384
C-18	0.9	63	DN150	7	DN100	53	0.0477
15-C	4.4	37.8	DN130	8	DN100	30	0.132
14-15	1.2	25.2	DN120	10	DN100	22	0.0264
17-C	2.4	25.2	DN120	10	DN100	22	0.0528
16-17	1.7	12.6	DN110	12	DN100	12	0.0204
13-14	5.1	12.6	DN110	12	DN100	12	0.0612

Max fall: 0.4318

(Från schakt 13)

Bilaga C – Samtliga beräkningar för förmedlingssystemet

Tabell 1C – Rörlängd, längd, normflöde, sannolikt flöde, dimension, resulterande hastighet, tryckfall per meter och tryckfall för stående fördelningsledning.

RÖRLÄNGD	LÄNGD[m]	NORM [l/s]	SANN [l/s]	DIAMETER [mm]	HASTIGHET [m/s]	TRYCKFALL [Pa/m]	TRYCKFALL [Pa]
I-H	2	0.6	0.4	16	1.99	2800	25220
H-H1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
H-G	3.1	0.5	0.38	16	1.89	2200	37231
G-G1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
G-F	3.1	0.4	0.36	16	1.79	2100	36921
F-F1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
F-E	3.1	0.3	0.3	16	1.49	1800	35991
E-E1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
E-D	3.1	0.2	0.2	13	1.51	2600	38471
D-D1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600
D-C	3.1	0.1	0.1	10	1.27	2600	38471
C-C1T	1	0.1	0.1	10	1.27	2600	2600

Tabell 2C – Rörlängd, längd, normflöde, sannolikt flöde, dimension, resulterande hastighet, tryckfall per meter och tryckfall för liggande fördelningsledning.

RÖRLÄNGD	LÄNGD[m]	NORM [l/s]	SANN [l/s]	DIAMETER [mm]	HASTIGHET [m/s]	TRYCKFALL [Pa/m]	TRYCKFALL [Pa]
1-2	2.3	0.6	0.4	20	1.27	800	1840
2-21	3.7	1.2	0.47	20	1.50	1400	5180
21-A	1.3	1.8	0.53	20	1.69	1900	2470
A-RENING	1.4	7.8	0.89	26.2	1.65	1300	1820
3-A	4	6	0.79	26.2	1.47	1000	4000
4-3	2	5.4	0.77	26.2	1.43	950	1900
5-4	4.7	4.8	0.73	26.2	1.35	900	4230
6-5	1.9	4.2	0.69	26.2	1.28	800	1520
7-6	4.6	3.6	0.66	26.2	1.22	750	3450
8-7	1.9	3	0.62	20	1.97	2400	4560
9-8	7.2	2.4	0.58	20	1.85	2000	14400
10-9	0.5	1.8	0.53	20	1.69	1900	950
B-10	7.9	1.2	0.47	20	1.50	1400	11060
11-B	2.8	0.6	0.4	20	1.27	800	2240
12-B	1.3	0.6	0.4	20	1.27	800	1040
20-RENING	2	4.8	0.73	26.2	1.35	900	1800
19-20	10.9	4.2	0.69	26.2	1.28	800	8720
18-19	1.9	3.6	0.66	26.2	1.22	750	1425
C-18	4.8	3	0.62	20	1.97	2400	11520
15-C	0.9	1.8	0.53	20	1.69	1900	1710
14-15	4.4	1.2	0.47	20	1.50	1400	6160
17-C	1.2	1.2	0.47	20	1.50	1400	1680
16-17	2.4	0.6	0.4	20	1.27	800	1920
13-14	1.7	0.6	0.4	20	1.27	800	1360

Tabell 3C – Plats för tryckfall, typ av tryckfall, koefficient, hastighet, dynamiskt tryck och resulterande tryckfall för engångstryckfall i liggande samlingsledning.

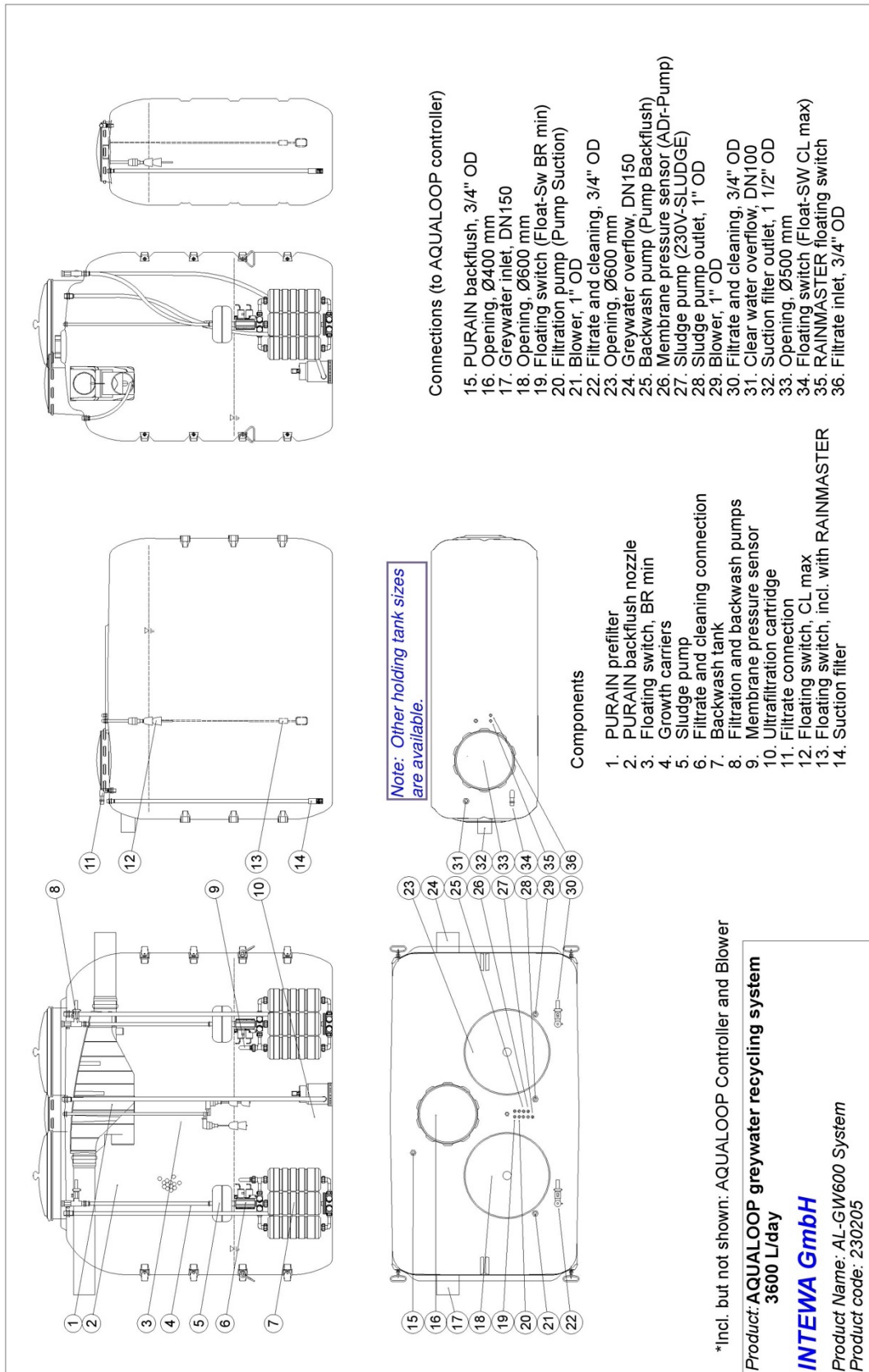
TRYCKFALL	TYP	Z	V [m/s]	DYN. TRYCK [Pa]	TRYCKFALL [Pa]
1	90	0.2	1.27	811	162
2	T	0.5	1.50	1119	560
21	T	0.5	1.69	1423	712
A	T	1.4	1.65	1363	1908
3	T	0.15	1.47	1074	161
4	T	0.15	1.43	1020	153
5	T	0.15	1.35	917	138
6	T	0.15	1.28	819	123
7	T	0.15	1.22	749	112
8	T	0.15	1.97	1947	292
9	T	0.15	1.85	1704	256
10	T	0.15	1.69	1423	213
B	T	0.5	1.50	1119	560
11	90	0.2	1.27	811	162
12	90	0.2	1.27	811	162
13	90	0.2	1.27	811	162
14	T	0.5	1.50	1119	560
15	T	0.15	1.69	1423	213
C	T	0.9	1.97	1947	1753
16	90	0.2	1.27	811	162
17	T	0.15	1.50	1119	168
18	T	0.15	1.97	1947	292
19	T	0.15	1.22	749	112
20	T	0.15	1.35	917	138
D	90	0.2	1.35	917	183
E	90	0.2	1.35	917	183

Tabell 4C – Plats för tryckfall, typ av tryckfall, koefficient, hastighet, dynamiskt tryck och resulterande tryckfall för engångstryckfall i stående samlingsledning.

TRYCKFALL	TYP	Z	V [m/s]	DYN. TRYCK [Pa]	TRYCKFALL [Pa]
H-H1T	T	0.15	1.89	1786	268
G-G1T	T	0.15	1.27	811	122
F-F1T	T	0.15	1.79	1603	240
E-E1T	T	0.15	1.27	811	122
D-D1T	T	0.5	1.49	1113	557
C-C1T	90	0.2	1.27	811	162

Bilaga D – AL-GW3600 ritning

Publicerad med tillåtelse.



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS