



# CHALMERS

---



## En analys av alternativa systemlösningar för tappvarmvatten

### Projektet fossilfri förskola

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MIKAEL FROST

EMIL LINDEBLOM



EXAMENSARBETE ACEX20-18-16

# En analys av alternativa systemlösningar för tappvarmvatten

Projektet fossilfri förskola

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MIKAEL FROST

EMIL LINDEBLOM

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2018

En analys av alternativa systemlösningar för tappvarmvatten

Projektet fossilfri förskola

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MIKAEL FROST

EMIL LINDEBLOM

© MIKAEL FROST & EMIL LINDEBLOM, 2018

Examensarbete ACEX20-18-16

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2018

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Illustrationsbild av förskolan Grönkan. Illustratör: Liljewall Arkitekter, 2017.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2018

En analys av alternativa systemlösningar för tappvarmvatten

Projektet fossilfri förskola

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

MIKAEL FROST

EMIL LINDEBLOM

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola

## **Sammanfattning**

I detta arbete har olika systemlösningar för tappvarmvatten studerats för förskolan *Hoppet*, vilket är en förskola som ska stå klar år 2021 i Göteborg och vars mål är att vara fossilfri. Projektet drivs av Lokalförvaltningen i Göteborg och är ett initiativ för att driva byggbranschen i en mer hållbar riktning och uppfylla FN:s miljömål. *Hoppets* utformning utgår från en modellförskola som Lokalförvaltningen utvecklat, *Grönskan*, som är färdigprojekterad och ska stå klar sommaren år 2019. Från *Grönskans* "referenssystem" för tappvarmvatten har alternativa systemlösningar tagits fram. De framtagna systemen har olika utformning och värmekälla. Systemen har sedan jämförts med avseende på deras funktion för brukare samt klimatbelastning för material och drift under en 50årsperiod. Klimatbelastningen jämförs via total mängd utsläpp av koldioxidekvivalenter, och har beräknats med generiska värden för material och med givna värden för energi från miljövarudeklarationer.

Under studiens gång visade det sig att system som använder fjärrvärme ger större utsläpp än de som använder av el från vattenkraft. Utsläpp från fjärrvärme och el från vattenkraft är i dagsläget 64 g respektive 10 g koldioxidekvivalenter per kWh. Det har även gjorts en prognos för hur fjärrvärmens utsläpp kan komma att minska i framtiden samt en jämförelse utifrån dessa nya värden. Klimatbelastningen från drift utgjorde en betydligt större andel än den från material. I referenssystemet bidrog driften med 95 % av klimatbelastningen under 50årsperioden, räknat med aktuella värden för energi.

Studien visade att klimatbelastningen från tappvarmvattensystemet går att minska jämfört med referenssystemet, utan att väsentligt påverka funktion för brukare. Lämpliga systemlösningar som föreslås för *Hoppet* är:

- Förrådsberedare i hela systemet (Minskar klimatbelastningen med 70 % jämfört med referenssystemet under en 50årsperiod).
- Förrådsberedare för storkök och personalutrymme, genomströmningsberedare i förskoleavdelningar (Minskar klimatbelastning med 79 % jämfört med referenssystemet under en 50årsperiod).

Nyckelord: Fossilfri, Tappvarmvatten, Förskola, Fjärrvärme, VVC, Förrådsberedare, Genomströmningsberedare, Hållbarhet, Hoppet

An analysis of alternative system solutions for hot tap water

The fossilfree preschool project

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

MIKAEL FROST

EMIL LINDEBLOM

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building Services Engineering  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

In this study different hot tap water systems has been designed and analysed for the fossil free preschool *Hoppet*. The project is run by Lokalförvaltningen Göteborg, and is an initiative for the construction sector towards a more sustainable future. Lokalförvaltningen has previously developed a model preschool, called *Grönskan*, from which the design of *Hoppet* will originate from, thus the tap water system of *Grönskan* constitutes our “reference system”. The alternative systems hold different qualities and methods of hot water supply, and are compared to the reference system regarding usability and total climate impact over a 50 year period. The climate impact is measured in carbon dioxide equivalents from material and from the system in operation. Generic data for climate impact has been used for materials and environmental product declarations has been used for energy in operation. The study resulted in two alternative solutions that could be implemented in *Hoppet* to drastically decrease the climate impact while maintaining usability. The solutions are:

- Storage heaters in the entire system (Decreases the climate load by 70 % during a 50 year period).
- Storage heaters for the kitchen and personnel space, flow heaters in the preschool departments (Decreases the climate load by 79 % during a 50 year period)

Key words: Fossil free, Hot tap water, Preschool, District heating, Hot water circulation, Water heater, Flow heater, Sustainability, Hoppet

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Syfte	2
1.4 Problemformulering	2
1.5 Fossilfri förskola	2
1.6 Avgränsningar	2
1.7 Metod	3
1.8 Genomförande	3
1.9 Litteraturstudier	3
2 KRAV OCH FÖRUTSÄTTNINGAR	4
2.2 Objektbeskrivning	4
2.3 Tappvarmvattensystem	6
2.3.1 Legionella	6
2.3.2 Boverkets byggregler för tappvarmvatten	7
2.3.3 Tekniska krav och anvisningar	7
2.3.4 Material och livslängd på varmvattenrör	7
2.3.5 Varmvattencirkulation	7
2.3.6 Varmvattenberedare	8
2.4 Koldioxidekvivalenter	8
2.5 EPD	9
2.6 Energislag	9
2.6.1 Fjärrvärme	9
2.6.2 El	11
2.7 Teknisk isolering	12
3 BERÄKNINGSMETOD	14
3.1 Beräkning av material	14
3.2 Teknisk livslängd	14
3.3 Energiåtgång för drift	15
3.4 Värmeavgång från rör	15
<b>CHALMERS</b> , <i>Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik</i> , Examensarbete ACEX20-18-16	III

3.5	Klimatbelastning	15
4	SYSTEMLÖSNINGAR	17
4.1	Alternativ 1: Referenssystem	18
4.1.1	Material	19
4.1.2	Drift	20
4.1.3	Värmeavgång	20
4.2	Alternativ 2: VVC i hela systemet	20
4.2.1	Material	21
4.2.2	Drift	21
4.2.3	Värmeavgång	21
4.3	Alternativ 3: VVB(F) i hela systemet	22
4.3.1	Material	22
4.3.2	Drift	23
4.3.3	Värmeavgång	23
4.4	Alternativ 4: Endast varmvatten i kärnan, VVC	23
4.4.1	Material	24
4.4.2	Drift	24
4.4.3	Värmeavgång	24
4.5	Alternativ 5: Endast varmvatten i kärnan, VVB(F)	25
4.5.1	Material	25
4.5.2	Drift	26
4.5.3	Värmeavgång	26
4.6	Alternativ 6: Genomströmningsberedare vid tappställen, VVC i kärna	26
4.6.1	Material	27
4.6.2	Drift	27
4.6.3	Värmeavgång	28
4.7	Alternativ 7: Genomströmningsberedare vid tappställen, VVB(F) i kärna	28
4.7.1	Material	28
4.7.2	Drift	29
4.7.3	Värmeavgång	29
5	RESULTAT	30
5.1	Övriga studier	36
6	DISKUSSION	39
7	SLUTSATS	40
	REFERENSER	41
	BILAGOR	43
	Bilaga 1 Principskiss över varmvattensystemet i referenssystemet	43
	Bilaga 2 Byggvarudeklaration för LK PAL Universalrör	44



Bilaga 3 Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E	45
Bilaga 4 Dimensioner och godstjocklek för LK PAL	46
Bilaga 5 Schematisk ritning för Grönskan	47
Bilaga 6 Uträkning av varmvattenbehov för storkök	48
Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END	49
Bilaga 8 Beräkningsgång för värmeförlust från rör	50
Bilaga 9 Beräkningsgång VV Rör (Samma princip för rörisolering)	51
Bilaga 10 Beräkningsgång VVB(F) (Samma princip med genomströmningsb.)	52
Bilaga 11 Beräkningsgång drift	53
Bilaga 12 Beräkningsgång för värmeavgång av VVC under avstängd tid	56



## Förord

Vi har fått möjligheten att arbeta tillsammans med Bengt Dahlgren för att se på alternativa systemlösningar av tappvarmvatten för en förskola som ska byggas, där ambitionen är att den ska vara helt fossilfri. Denna möjlighet är vi oerhört tacksamma för då vi fått arbeta inom ett område av branschen vi finner väldigt intressant, samt med ett projekt som fokuserar på hållbarhet och framtidens byggande. Vi vill tacka vår handledare på Bengt Dahlgren, Andreas Karlsson, som alltid varit nära till hands och erbjudit sin expertis inom området. Tack till Torbjörn Lindholm, handledare på Chalmers, som hjälpt oss med formalia kring rapporten men även med kunskap inom VVS. Tack till Julia Nilsson, Anna Feldt och Huzeyfe Altun som skrivit examensarbete inom samma projekt men med andra fokusområden, det har varit ett nöje att få arbeta tillsammans med er. Tack till Gustav Alkema som opponerat på detta arbete, och gett oss många bra synpunkter. Tack till Lokalförvaltningen för ert engagemang i oss och detta projekt. Tack till Fredrik Pihlquist på VCON som ställt upp med tid och svarat på våra frågor gällande utformning av förskolan. Ett sista tack till alla på Bengt Dahlgren som varit delaktiga och hjälpt oss med detta arbete!

Göteborg juni 2018

Mikael Frost och Emil Lindeblom

## Beteckningar

BBR	Boverkets byggregler
CO <sub>2</sub>	Koldioxid
CO <sub>2</sub> -ekv	Koldioxidekvivalenter
COP21	Conference of parties 2021 in Paris
EPD	Environmental product declarations
FJV	Fjärrvärme
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental panel on climate change
IVL	Institutet för vatten – och luftvårdsforskning
LCC	Life-cycle cost
LF	Lokalförvaltningen Göteborg
kWh	Kilowattimma
TKA	Tekniska krav och anvisningar för dig som bygger lokaler åt Göteborgs stad
VCON	VCON VVS-konsult AB
VV	Tappvarmvatten
VVB(F)	Förrådsberedare
VVB(G)	Genomströmningsberedare
VVC	Tappvarmvattencirkulation
VVS	Värme, ventilation och sanitet
VVX	Värmeväxlare

# 1 Inledning

I följande kapitel presenteras en bakgrund till studien och examensarbetet. Därefter beskrivs syfte, problemformulering och avgränsningar. Kapitlet avslutas med beskrivning av metod, genomförande och litteraturstudier.

## 1.2 Bakgrund

Lokalförvaltningen Göteborg (LF) har gett Bengt Dahlgren i uppdrag att vara miljökonsult/projektledarstöd för en ny fossilfri förskola som ska byggas i Göteborg. Denna förskola har tilldelats namnet *Hoppet* och är ett koncept för kommande nybyggnationer av förskolor. *Hoppet* ska stå färdig år 2021.

*Hoppet* är ett initiativ för Göteborgs stad att nå de uppsatta miljömålen och främja ett hållbart byggande. Detta är i linje med de lokala åtgärder som krävs för att Göteborgs stad ska kunna nå Förenta Nationernas (FN) 1,5-gradersmål från Conference of parties i Paris för 2021 (COP21). Göteborg vill vara en av världens mest progressiva städer för miljö- och klimatutmaningar, och vara en förebild inom miljöområdet. Detta framgår i stadens klimatstrategiska program, i stadens budget och i andra styrande dokument (Miljö- och klimatnämnden, 2018).

Människans påverkan på klimatet gör sig påmind världen över med stigande halter av växthusgaser i atmosfären och global uppvärmning. Detta visade Intergovernmental panel on climate change (IPCC), FN:s vetenskapliga klimatpanel, i en rapport från 2013. Där visas att de tre senaste decennierna är den varmaste 30-årsperioden på norra halvklotet under de senaste 1400 åren. Flera forskare och experter från olika länder har varit delaktiga i och sammanställt rapporten, och kommit fram till den obekväma sanningen som bekräftar klimatuppvärmningen, och att människans påverkan är den ensamt största orsaken till uppvärmningen. I ett försök att vända och motverka den globala uppvärmningen har regeringen antagit en vision för år 2050, vilket även överensstämmer med Göteborgs stads mål om begränsad klimatpåverkan för 2050. Visionen innebär att Sverige ska ha netto noll utsläpp av växthusgaser. (Miljö- och klimatnämnden, 2018)

Regeringen har satt upp som mål att till år 2020 ska byggnaders energianvändning minska med 20 procent, och till år 2050 ska energianvändningen minska med 50 procent, jämfört med år 1995 (Boverket, 2007). Utvecklingen går åt rätt håll, men mer behöver göras för att kunna nå målen i tid. Då måste olika åtgärder såsom energisnåla system och andra innovativa lösningar användas vid både renovering och nybyggnation.

Fokus på denna rapport ligger på tappvarmvattensystemets klimatbelastning, men tar även funktion och komfort för brukaren i beaktan. Ritningar och dokument som tilldelats från LF är baserade på förskolan *Grönskan*, som i rapporten benämns som modellförskola. *Grönskan* är en förskola som ska byggas 2018 och ska stå färdig sommaren 2019. *Grönskan* är en modellförskola och har en utformning som LF kommer anamma på framtida förskolor, bland annat *Hoppet*.

## 1.3 Syfte

Syftet med detta arbete är att ta fram och analysera alternativa systemlösningar för tappvarmvatten, med olika utformningar och försörjningsmetoder. Utgångspunkt är den systemlösning som projekterats för *Grönskan*. Genom att utvärdera och jämföra de olika alternativen med avseende på klimatbelastning och funktion för brukare ska lämpliga systemlösningar föreslås för *Hoppet*. Alternativen ska även utvärderas med hänsyn till funktion för brukare, fastighetsägare och identifiera eventuella avsteg från tekniska bestämmelser, branschstandarder och krav.

## 1.4 Problemformulering

Kopplat till syftet i rapporten blir problemformuleringen följande:

- Finns alternativa systemlösningar med lägre klimatbelastning för *Hoppet*, jämfört med den som projekterats för *Grönskan*?
- Bör fokus ligga på ett system med låg klimatbelastning från drift eller material?
- Behöver tekniska bestämmelser, myndighetskrav och branschstandarder frångås för en systemlösning med lägre klimatbelastning?
- Hur påverkas brukare och fastighetsägare av en alternativ systemlösning?
- Hur ser möjligheterna ut för att få en fossilfri förskola? Hur vägs fossilfrihet mot lägre utsläpp av koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv)?

## 1.5 Fossilfri förskola

Fossilfri förskola är ett koncept som LF driver för att främja utvecklingen i byggsektorn och driva branschen i en mer hållbar riktning. I projektet syftar begreppet *fossil* på produkter och energi som baseras på råolja, naturgas och kol. Råolja bildas genom att växter och djur, under lång tid legat begravda under högt tryck utan tillgång till syre, vilket stoppat förmultningen och istället omvandlat organismerna till rena kolväten (Nationalencyklopedin, 2018). Det finns flera användningsområden för råoljan, exempelvis till framställning av bränsle, färg och plast (Sweden Natural Assets AB, 2018). Den fossilfria förskolan *Hoppet* har som mål att byggas, bestå och drivas utan inverkan av fossila material och bränslen. Att bygga en förskola enligt dessa principer är idag inte rimligt ekonomiskt sett om krav på komfort och funktion ska uppfyllas. En primitiv förskola skulle kunna byggas med metoder och material som inte längre används vid nybyggnation för att uppfylla fossilfrihet, men komfort och funktion skulle bli lidande. Detta projekt tar därför ett stort initiativ för att utforska möjligheterna som finns och involvera branschens aktörer. Denna studie fokuserar på system med lägre utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv jämfört med referenssystemet.

## 1.6 Avgränsningar

För att avgränsa arbetet koncentreras denna rapport till att främst se på alternativ för tappvarmvattensystemet från *Grönskan*. Ekonomiska aspekter är inte tagna i beaktning. Klimatpåverkan för de olika systemen beräknas under en 50årsperiod för att kunna använda dagens siffror, samt kunna reflektera över hur framtidens siffror ser ut, för miljöpåverkan från el, fjärrvärme (FJV) och material. För en period längre än 50 år kan dessa antaganden bli svåra. För material läggs fokus på rör för tappvarmvatten och varmvattencirkulation (VVC), teknisk isolering, förrådsberedare (VVB(F)) och genomströmningsberedare (VVB(G)). Mindre komponenter i systemet beaktas ej, då de skulle motsvara en mycket liten del av den totala klimatbelastningen. Material för fjärrvärmväxlare har inte beaktats. Solceller och solfångare som eventuellt installeras

på förskolan och deras miljöpåverkan samt el- och varmvattenproduktion har inte beaktats. För klimatbelastning från material och energi har ingen större analys gjorts, utan arbetet har utgått från redan givna värden i form av koldioxidekvivalenter via Environmental product declaration (EPD) och från databaser. Det ingår ej i arbetet att analysera dessa värden eller systemgränser för dem.

## 1.7 Metod

Rapporten grundar sig på litteraturstudier, projektmöten och handlingar från VCON VVS-konsult AB (VCON). Som referenssystem för tappvattensystemet har ritningar och energianalys över modellförskolan *Grönskan* studerats. Utifrån ritningar för referenssystem har mängder, utformning, flöden och material tagits fram. Materialdata och koldioxidekvivalenter för olika produkter och energikällor har tagits fram med EPD från databaser. Framtagna systemlösningar har baserats på litteraturstudier och egna beräkningar. Dessa har sedan utvärderats utifrån en förenklad LCA för energi och material, samt för funktion. Arbetet har utgått från en teoretisk analys och inga mätningar har utförts.

## 1.8 Genomförande

Under uppstarten av arbetet hölls informationsmöten med flera delaktiga parter från tidigare skeden i projektet, för att få en helhetsbild av vad arbetet handlar om, vad som hade gjorts, och vad som förväntades.

En förstudie gjordes genom inläsning av olika föreskrifter som Lokalförvaltningens ”tekniska krav och anvisningar” (TKA), vilka gav vissa generiska data för senare beräkningar. En stor del av det material som sedan låg till grund för arbetet kommer från VCON, som under ett tidigare skede fått i uppdrag av LF att projektera tappvattensystemet för *Grönskan*. Från VCON tillhandahölls energianalysrapport, tekniska beskrivningar och ritningar för *Grönskan*.

Arbetet började med att studera de ritningar som fanns för att mängda material i tappvarmvattensystemet. Tillsammans med 3D-modeller av tappvattensystemet, lade det en god grund för en förståelse över hur systemet såg ut och var tänkt att fungera. Vidare togs alternativa tappvarmvattensystem fram med olika försörjningsmetoder och utformningar. Data om ingående material och energiåtgång samlades in och beräknades för alternativen. Sedan kunde en sammanställning och jämförelse göras för samtliga alternativ, varifrån de kunde utvärderas med avseende på klimatbelastning och funktion. Därefter koncentrerades arbetet på de två bästa alternativen grundat på utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv och funktion för brukare.

## 1.9 Litteraturstudier

Litteraturstudierna har i huvudsak fokuserat på tekniska krav och anvisningar, myndighetskrav, tidigare examensarbeten samt relevant kurslitteratur för tappvattensystem.

## 2 Krav och förutsättningar

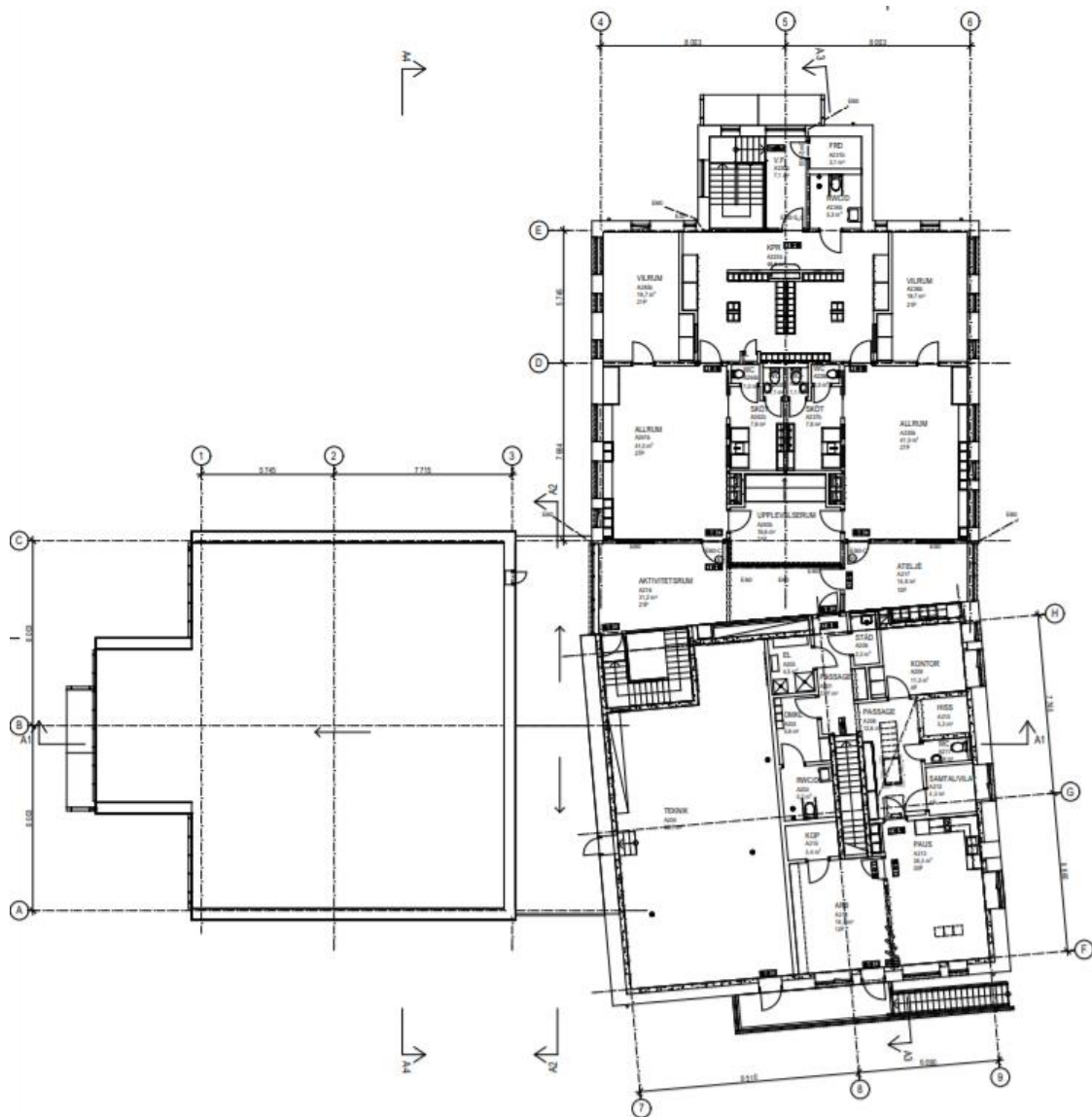
I detta kapitel beskrivs vilka regler och krav som finns angående dimensionering av ett varmvattensystem för förskoleverksamhet, och hur ett tappvattensystem fungerar med VVC, förrådsberedare eller genomströmningsberedare. Därefter beskrivs de olika energislagen som kommer användas vid beräkningarna, och allmänt om rörisolering och hur det påverkar värmeförluster från rören, samt en förklaring av EPD och koldioxidekvivalenter.

### 2.2 Objektbeskrivning

Modellförskolan *Grönskan* utgör ett referensobjekt för den fossilfria förskolan *Hoppet*. Ritningar och tekniska beskrivningar för den utgör grunden för vidare analys och förbättringspotential ur ett miljöperspektiv. *Grönskan* är utformad med en central byggnadsdel som benämns "kärnan". Den består av två våningar, varav den första utgörs av storkök och den andra av personalrum. Två flyglar går ut från kärnan och utgör avdelningar för förskoleverksamhet. Den ena flygeln har en våning och den andra har två. På varje våning finns två förskoleavdelningar, vilket ger sex avdelningar totalt. Med denna design kan antalet flyglar och förskoleavdelningar anpassas efter behov vid nybyggnation se *Figur 1* och *Figur 2*. I kärnan finns ett VVC-system med fjärrvärmväxlare, medan flyglarna har en förrådsberedare, Nibe eminent 100E (100 liter) per våning. All data och beräkningsförutsättningar redovisas i *avsnitt 4.1*. *Grönskan* är projekterad för 128 personer, och med dimensionerande varmvattenflöde på 5 liter per person och dag, blir det totala varmvattenflödet 640 liter per dag. För storköket är energi för varmvattenförbrukning specificerat till 25 kilowattimmar (kWh) per dag (0,2 kWh/port, 125 port/dag) (VCON, 2017). Förskolan är i bruk 230 dagar om året.







Figur 2 Planlösning våning 2 (VCON, 2017) Återgiven med tillstånd

## 2.3 Tappvarmvattensystem

### 2.3.1 Legionella

Legionella är en bakterie som kan orsaka allvarlig lunginflammation, legionärssjuka, men också en mildare febersjukdom som kallas pontiacfeber. Sjukdomen orsakas oftast via inandningen av bakterien legionella pneumophila i aerosolform. Generellt sett står kyltorn för de största utbrotten.

Bakterierna tillväxer inom temperaturintervallet 20-45 °C. Främst sker tillväxten i tappvattensystem vid den biofilm som ofta förekommer i vattenledningsrör och duschslangar. Vid låga temperaturer är bakterien i vilande form, och vid höga temperaturer (>50 °C) dör bakterien. För att minska risken för tillväxt av legionella i ett tappvattensystem hålls temperaturen vid minst 60 °C i förrådsberedaren, och senare 50 °C vid tappstället. Ledningssystemet ska vara konstruerat så att stillastående vatten undviks, vilket försvårar bakterietillväxten (Folkhälsomyndigheten, 2016).

### 2.3.2 Boverkets byggregler för tappvarmvatten

Boverkets byggregler innehåller regler för hur bland annat tappvarmvatteninstallationer i byggnader ska utföras i Sverige. Reglerna är applicerbara på nyproducerade byggnader och tillbyggnader av redan existerande byggnader. För tappvatteninstallationer föreskriver Boverkets byggregler (BBR) följande (Boverket, 2011):

*Installationer för tappvarmvatten ska utformas så att en vattentemperatur på lägst 50 °C kan uppnås efter tappstället. För att minska risken för skällning får temperaturen på tappvarmvattnet vara högst 60 °C efter tappstället. (6:621)*

Det finns även krav för att minska tillväxten av legionella i tappvattensystemet (Boverket, 2011):

*Installationer för tappvatten ska utformas så att möjligheterna för tillväxt av mikroorganismer i tappvattnet minimeras. Installationer för tappkallvatten ska utformas så att tappkallvattnet inte värms upp oavsiktligt. Cirkulationsledningar för tappvarmvatten ska utformas så att temperaturen på det cirkulerande tappvarmvattnet inte understiger 50 °C i någon del av installationen (6:622)*

För utformning av tappvarmvattensystem finns råd från BBR (Boverket, 2011):

*Utformningen av vattenledningar och placeringen av vattenvärmare bör vara sådana att tappvarmvatten kan erhållas inom ca 10 sekunder vid ett flöde av 0,2 l/s. (6:623)*

### 2.3.3 Tekniska krav och anvisningar

TKA är lokalförvaltningens specifika komplement till lagar och förordningar. De dokument som finns tillgängliga i TKA är främst anvisningar och mallar, som gäller för upprättande av bygghandlingar i utförandeentreprenader. Den riktar sig till de verksamhetsområden som LF förvaltar och bygger inom, däribland förskolor (Göteborgs stad lokalförvaltningen, 2018). TKA tillämpades vid projektering av Grönskan, därav uppfylldes relevanta krav och anvisningar. Exempel på sådana krav är samisolerade tappvarmvattenledningar (VV och VVC), och rekommendationen av två toaletter per 18 barn.

### 2.3.4 Material och livslängd på varmvattenrör

De rörmaterial som används i ett tappvattensystem är vanligen koppar, rostfritt stål och plast. Valet av material grundar sig på hygieniska krav på dricksvattnet, livslängd på rören, förläggningssätt, tillåtna mängder koppar, etc (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Enligt TKA är de plaster som används för tappvattenledningar utav PE-plast, och för rörledningar i distributionssystem och huvudstråk av PP-plast eller PEX-material o.d. (Göteborgs stad lokalförvaltningen, 2018). Vanligen används koppar i mindre dimensioner för de synliga rören som ansluter till tappstället, även detta enligt TKA.

### 2.3.5 Varmvattencirkulation

Varmvattencirkulation innebär att varmvatten fram till tappvattenställen hela tiden cirkuleras med hjälp av en pump. Cirkulationen kan ske från en förrådsberedare eller

fjärrvärmväxlare (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I detta arbete används endast VVC i kombination med fjärrvärmväxlare

Fördelen med varmvattencirkulation är att ständigt ha varmt vatten vid önskat tappställe. Enligt föreskrifter i BBR bör varmvatten erhållas inom 10 sekunder vid ett flöde på 0,2 liter per sekund. Detta tas i beaktande vid dimensionering av rör och system.

Cirkulationsledningarna för VVC:n ska utformas så att vattnet i den cirkulerande kretsen inte understiger 50 °C i någon del av installationen (Boverket, 2011). Om fallet skulle vara att temperaturen blir för låg kan man öka rörisoleringen eller öka flödet.

### 2.3.6 Varmvattenberedare

Varmvattenberedare, förkortat VVB, har som uppgift att förse tappställen med varmvatten. Två typer, förrådsberedare och genomströmningsberedare används i arbetet och beskrivs nedan. Båda typerna drivs av el.

#### 2.2.6.1 Förrådsberedare

En förrådsberedare är en välisolerad tank som är uppdelad i en övre och en undre del, och består av antingen rostfritt stål, emaljerat stål eller koppar. I den övre delen tas tappvarmvattnet ut, och i den undre fylls nytt kallt vatten på i takt med att den övre delen töms. Om vattnet värms med el används normalt elpatroner. Beredarens volym bör ha en tillräckligt stor volym för att en viss mängd varmvatten ska kunna tappas inom en viss tid. Detta minskar även nödvändig installerad värmeeffekt då den kan vara mindre än vad toppbelastningen kräver (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Förrådsberedare benämns VVB(F) i arbetet.

#### 2.2.6.2 Genomströmningsberedare

En genomströmningsberedare värmer vattnet direkt vid användning. Fördelen med en genomströmningsberedare är att uppvärmningen är effektiv då det endast genereras värme i det media som ska värmas upp. Inkommande kallvatten som värms upp förbrukas direkt, vilket innebär att vattnet endast behöver värmas till önskad utloppstemperatur. Genomströmningsberedaren kan både användas då det primära värmesystemet inte klarar av att värma tillräckligt med varmvatten, eller som ett separat system (International heating products, 2018). Alternativa systemlösningar med genomströmningsberedare i anslutning till tappstället begränsar varmvattenflödet till 0,03 l/s med vald effekt på 3,5 kW, se *Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END*, vilket skiljer sig från BBRs rekommenderade flöde på 0,1 l/s (Boverket, 2011). Genomströmningsberedare benämns VVB(G) i arbetet.

## 2.4 Koldioxidekvivalenter

Koldioxidekvivalenter används för att enkelt kunna jämföra olika växthusgasers förmåga att absorbera och återstråla jordens värmestrålning. Nationalencyklopedin förklarar det som (Nationalencyklopedin, 2018):

*”koldioxidekvivalent, mängden av en viss växthusgas, t.ex metan, uttryckt som den mängd koldioxid som ger samma växthuseffekt.”*

För att sätta utsläppen i perspektiv motsvarar ett ton CO<sub>2</sub>-ekv ungefär 4000 km färd i en genomsnittlig personbil eller förbrukning av 2,3 fat olja. Om 26 trädplantor får växa i 10 år tar de upp ungefär ett ton CO<sub>2</sub>-ekv (Environmental Protection Agency, 2017).

## 2.5 EPD

Environmental product declaration är en miljövarudeklaration som visar på en produkts miljöprestanda ur ett livscykelperspektiv. Information från EPD gör produkter jämförbara genom att tilldela koldioxidekvivalenter till alla delar i en produkts livscykel (EPD international AB, 2018). Dessa har sedan applicerats på de olika systemlösningar som tagits fram. Värden från Institutet för vatten – och luftvårdsforskning (IVL) har använts i samband med byggvarudeklaration för att få fram koldioxidekvivalenter för material (IVL - Svenska miljöinstitutet, 2013). För el och fjärrvärme har EPD från Göteborg energi och Vattenfall använts.

## 2.6 Energislag

En stor del av den totala miljöpåverkan från varje systemlösning för tappvarmvatten påverkas av energislaget som används vid uppvärmning av kallvattnet. Följande kapitel beskriver fjärrvärme och el.

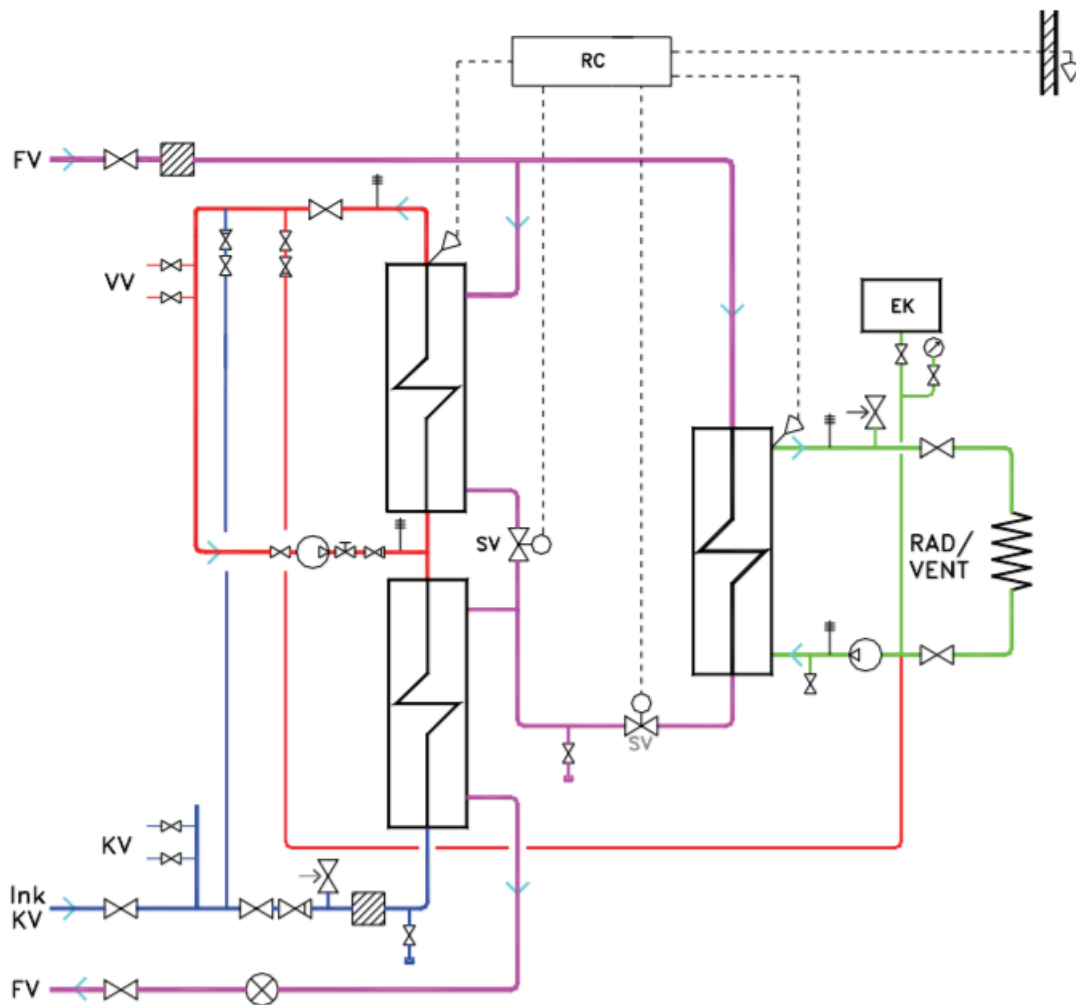
### 2.6.1 Fjärrvärme

Idag utgörs fjärrvärme till stor del av förnyelsebara bränslen och spillvärme, men medför ändå en del utsläpp. Fjärrvärmens produceras i ett centralt värmekraftverk och transporteras därefter i ett nät av vattenledningar till de anslutna byggnaderna i ett slutet system. För att erhålla fjärrvärme krävs en fjärrvärmecentral i byggnaden med en värmeväxlare (V VX) som överför värmen från fjärrvärmesystemet till bland annat tappvarmvattensystemet i byggnaden.

Fjärrvärmecentraler i byggnader består antingen av en parallellkoppling eller en tvåstegskoppling. Med det menas att vattnet värms upp i ett eller två steg samtidigt som vattnet i fjärrvärmenätet kyls ned i ett eller två steg. Idag är den parallellkopplade lösningen vanligast. Vid en parallellkoppling leds det inkommande fjärrvärmevattnet, efter en förgrening, parallellt till två värmeväxlare, och därefter till fjärrvärmereturen, se *Figur 3*. En Tvåstegskoppling fungerar på annat vis. Där leds det inkommande fjärrvärmevattnet efter förgreningen parallellt till två värmeväxlare, se *Figur 4*. Skillnaden mellan systemen är att det parallellkopplade systemet värms upp i två steg (Svensk Fjärrvärme AB, 2014).

För att kunna se fjärrvärmens klimatpåverkan tas hela dess livscykel i beaktning, från produktion till förbrukning. Fjärrvärme genererar utsläpp under hela sin livscykel, främst från förbränning, men även från transport och produktion av bränsle och klimatpåverkan för använd el. Fjärrvärmens i Göteborg består av 75 % återvunnen energi, 18 % förnyelsebar energi och 7 % fossil energi. Det totala utsläppet för fjärrvärmens i Göteborg ligger på 64 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Göteborg Energi, 2017).





Figur 4 Schematisk bild av tvåstegskoppling i en värmecentral (Svensk Fjärrvärme AB, 2014) Återgiven med tillstånd

## 2.6.2 El

El produceras i en process där primära energikällor omvandlas till elektricitet. Primär energikälla är energi i en naturresurs som inte genomgått omvandling eller transformering till annan energiform. Energikällorna kan delas upp i tre kategorier (Jernkontoret, 2018):

1. Icke förnybar (fossil, uran)
2. Förnybar, ej fritt flödande (biobränsle, vattenkraft, mm)
3. Förnybar, fritt flödande (vind-, solkraft, mm)

Omvandling till elektricitet sker oftast genom att energikällan sätter en turbin i rörelse. Turbinen är kopplad till en generator som i sin tur producerar elektricitet (el.se, 2018).

Förnybar el produceras från förnybara energikällor (Nationalencyklopedin, 2018):

*"förnybara energikällor, förnyelsebara energikällor, flödande energikällor, energikällor som direkt eller indirekt baseras på solinstrålning och därigenom fortlöpande förnyas i samma takt som de används."*

Elnätet består av en stor blandning av elektricitet med olika ursprung och därför garanteras inte en öronmärkt elektron av valt ursprung komma ut ur uttaget. *Hoppet* kommer köpa in el från förnyelsebara källor, vilket innebär att de kWh *Hoppet* förbrukar motsvarar en andel av de kWh som produceras förnyelsebart. Enligt principen att efterfrågan styr utbud är det därför en miljömässigt bra investering att välja förnyelsebart för att främja utveckling (E.ON Energilösningar, 2018).

Sveriges förnyelsebara elproduktion år 2016 bestod av 0,09 % solkraft, 10,15 % vindkraft och 40,47 % vattenkraft (Statistiska centralbyrån, 2018). I tappvattensystemet driver el bland annat pumpar, genomströmningsberedare och förrådsberedare. För att kunna jämföra energislagens klimatpåverkan tas hela elens livscykel i beaktning, från tillverkning av kraftverk till förbrukning.

Solkraft genererar i dagsläget relativt mycket utsläpp under sin livscykel. El som genereras i drift ger noll utsläpp, men tillverkningen av solceller kräver mycket energi. Kina och Tyskland är ledande producenter av solceller, vilket innebär att kolkraft finns i energimixen, men produktion finns även i Sverige fast i mindre skala (Naturskyddsföreningen, 2018). Framtiden ser ljus ut för solceller om produktion sker med förnybar energi och nära brukaren. Utsläppen kan variera kraftigt men enligt NREL ligger det på runt 40 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (National Renewable Energy Laboratory, 2012).

Vindkraft har ökat markant de senaste åren och är Sveriges tredje största energikälla (Statistiska centralbyrån, 2018). Infrastrukturen (byggnation och rivning av vindkraftverk, samt byggnation och rivning av stamnät och distributionsnät) för kraftverken bidrar mest till utsläppen, sedan tillkommer mindre utsläpp för drift samt upp- (tillverkning av driftkemikalier) och nedströmsprocesser (drift av elnät). Det totala utsläppet är 18 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Vattenfall, 2016).

Vattenkraft utgör i dag den största delen av den förnyelsebara elproduktionen i Sverige (Statistiska centralbyrån, 2018). Infrastrukturen (byggnation och reinvestering av maskiner, vattenvägar och dammar, samt byggnation och rivning av stamnät och distributionsnät) bidrar mest till förorenade utsläpp, och därefter tillkommer något mindre utsläpp för upp- (tillverkning av driftkemikalier) och nedströmsprocesser (Drift av elnät). Det totala utsläppet är 10 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Vattenfall, 2015).

## 2.7 Teknisk isolering

Teknisk isolering omfattar i detta fall värmeisolering av tappvarmvattenrör. Allmänt innefattas även isolering för kyl, industriinstallationer, brand, kondens och ljud.

Värmeisolering är en åtgärd där man begränsar värmeflödet mellan två kroppar eller medier. Värmeflödet genom ett isolermaterial sker främst genom ledning och strålning. För isolering av rör används vanligtvis mineralull. Isolermaterialet ska även ha ett yttre skikt som är diffusionstätt, för att förhindra fuktvandring. Även cellplastmaterial kan med fördel användas som isolering för rör, där de vanligaste plasterna är polystyren, polyuretan och cellgummi. Fördelen med cellmaterial är att de fungerar väl i fuktiga miljöer på grund av de slutna cellerna i materialet. Nackdelen är dock att det organiska materialet medför en högre brandrisk (Petersson, 2010). I enlighet med TKA ska alla VVC-ledningar samisoleras med varmvattenledningar (Göteborgs stad lokalförvaltningen, 2018). Vid beräkningar av rörisoleringens klimatbelastning har



isoleringen antagits vara cellgummi, vilket motsvarar 1,8 kg CO<sub>2</sub>-ekv per kg material (IVL - Svenska miljöinstitutet, 2013).

### 3 Beräkningsmetod

Under detta kapitel beskrivs metoder och viktig indata för beräkning av framtagna systemlösningar.

#### 3.1 Beräkning av material

Ursprungliga rör- och rörisoleringsmängder för *Hoppet* har tagits fram från *Grönskans* ritningar. Mängderna har sedan anpassats för att reflektera de olika framtagna systemlösningarna. Denna anpassning har utgått från *Grönskans* ritning och mängder, som sedan ändrats för de alternativa utformningarna med nya rördragningar och eventuellt ändrade rördimensioner. Material för förrådsberedare utgår från bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E (55 liter) där viktprocent av ingående material framgår. Viktprocenten har sedan applicerats på andra förrådsberedare av större storlek och vikt, se *Bilaga 4 Dimensioner och godstjocklek för LK PAL*. Beräkningar för genomströmningsberedare har utgått från Clage M3/END, se *Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END*. Ingen EPD eller redovisning av ingående material har erhållits för genomströmningsberedaren. Dess torrsvikt antas till 1 kg, samt dess ingående material och viktprocent vara samma som förrådsberedarens. Total vikt för alla ingående material för de olika systemen sammanställs och antal kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter beräknas med generisk data från IVL (IVL - Svenska miljöinstitutet, 2013).

Mindre komponenter har inte beaktats då deras bidrag till den totala klimatbelastningen anses liten, men även på grund av att relevant information gällande ingående material eller EPD inte finns. Mindre komponenter innefattar bland annat pumpar, ventiler och fjärrvärmeväxlare. Anledningen till att information inte finns till dessa komponenter är att de inte klassas som byggprodukter och ställs således inte för samma krav gällande bedömning i de olika miljöbedömningssystemen (SWEPUK, 2017).

#### 3.2 Teknisk livslängd

Den tekniska livslängden redovisas på liknande sätt som beräkningen av material i föregående avsnitt. Utbyte av komponenter för de olika systemförslagen görs utifrån funna värden, och antaganden, för livslängder på delar i systemen under en 50årsperiod. Därefter byts den aktuella delen ut mot en ny med samma CO<sub>2</sub>-ekv som den initiala delen hade. Detta fortgår sedan fram till 50årsperiodens slut.

Tabell 1 Livslängder för systemrelaterade produkter

Produkt	Livslängd, år
Varmvatten/VVC-rör	>100, (Annika, o.a., 2011)
Förrådsberedare	15, se <i>Bilaga 3 Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E</i>
Genomströmningsberedare	15, se <i>Bilaga 3 Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E</i>

### 3.3 Energiåtgång för drift

För drift beräknas den energi som går åt vid uppvärmning, beredning och pumpning av varmvatten. Uppvärmning sker med fjärrvärme eller el.

För system med VVC sker tre olika uppvärmningar, samtliga genom fjärrvärmeväxlare:

1. Eftersom VVC-kretsen stängs av då förskolan larmas på, sker en kraftigare uppvärmning på morgonen då skolan larmas av. Denna uppvärmning varar 30 min och får upp vattnet till en temperatur av 65° C. Denna uppvärmning till en så hög temperatur sker för att döda av legionella.
2. Kontinuerlig uppvärmning för VVC-kretsen för att inte understiga 50° C på returslingan.
3. Uppvärmning av inkommande kallvatten (50° C temperaturhöjning).

För system med förrådsberedare sker uppvärmningen genom beredarens inbyggda elpatroner. Genomströmningsberedare fungerar enligt samma princip med undantaget att de inte lagrar varmvattnet, utan låter det värmas och tappas direkt.

Elenergi driver cirkulationspumpen i VVC-kretsen. Pumpens eleffektbehov har antagits till olika värden beroende på systemutformning. Pumpen går endast avlarmade timmar och energiåtgången beräknas efter dem.

### 3.4 Värmeavgång från rör

Tappvarmvattenrör avger en viss mängd värme till omgivningen och systemlösningen påverkar hur mycket och var den avges. Värmen som avges tillgodoser inte byggnaden på samma sätt som värmesystemet, utan kan medföra oönskade temperaturhöjningar i fel utrymmen (Alros, 2015). Värmeavgången har beräknats för de olika systemen och redovisas i *Bilaga 12 Beräkningsgång för värmeavgång av VVC under avstängd tid*. Uträkning för värmeförlust har gjorts för varje dimension enligt *Bilaga 8 Beräkningsgång för värmeförlust från rör*. I arbetet har värme som avgetts betraktats som en förlust. För att precisera hur mycket av den avgivna värmen som kan utnyttjas eller blir en belastning krävs vidare undersökning.

### 3.5 Klimatbelastning

För material antas dessas CO<sub>2</sub>-ekv vara oförändrade under hela systemets livslängd, d.v.s. förrådsberedare som installeras vid nybyggnation har samma klimatpåverkan som de som installeras efter 15, 30 och 45 år. Värden för CO<sub>2</sub>-ekv utgår från aktuella värden i IVL (IVL - Svenska miljöinstitutet, 2013).

För energi finns värden på fjärrvärme och el i dagsläget. I Göteborg levererar *Göteborg energi* fjärrvärme och deras data för utsläpp år 2017 visar 64g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Göteborg Energi, 2017). För el anger Vattenfall värden för vind- och vattenkraft. För Vattenkraft är utsläppet 10 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Vattenfall, 2015) och för Vindkraft 18 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh (Vattenfall, 2016).

Tabell 2 utsläpp av gram CO<sub>2</sub>-ekv/kWh för olika energikällor

Energikälla	g CO <sub>2</sub> -ekv / kWh [2018]
Fjärrvärme	64
Vindkraft	18
Vattenkraft	10

En känslighetsanalys för hur fjärrvärmens utsläpp kan komma att ändras under de kommande 50 åren har gjorts. I dagsläget är 7 % av tillförd energi för fjärrvärmeförbrukning av fossilt ursprung, 6 % naturgas till kraftvärme och 1 % naturgas samt olja till värmepanna (Göteborg Energi, 2017).

Fjärrvärmeprognos					
Prognoser	Aktuellt värde (2017)*		Prognos 1	Prognos 2	Prognos 3
	7% fossilt		0% fossilt	0% fossilt, 70% GWP	0% fossilt, 40% GWP
	GWP		GWP	GWP	GWP
<b>Processer</b>					
<b>Förbränning</b>	53		35,2	24,7	14,1
Andel Fossilt	17,8 **		0	0	0
	2,9 Olja: 1% 14,9 Naturgas: 6%				
<b>Transport/produktion</b>	6		6	4,2	2,4
Andel fossilt: okänt					
<b>Klimatpåverkan använd el</b>	5		5	3,5	2
Andel fossilt: okänt					
<b>Summa GWP prognos</b>	64		46,2	32,4	18,5
<b>**Fossilt</b>	Specifik GWP***	Andel	GWP	Summa fossil GWP	
Naturgas	248	6%	14,9	17,8	
olja	288	1%	2,9		
GWP, global warming potential [g CO <sub>2</sub> -ekv / kWh]					
***Källa fossil GWP: Naturvårdsverket					
*Källa FJV: Göteborgs energi EPD					

Figur 5 Fjärrvärmeprognos med 0% fossilt bränsle och minskad klimatbelastning, med aktuellt värde som referens.

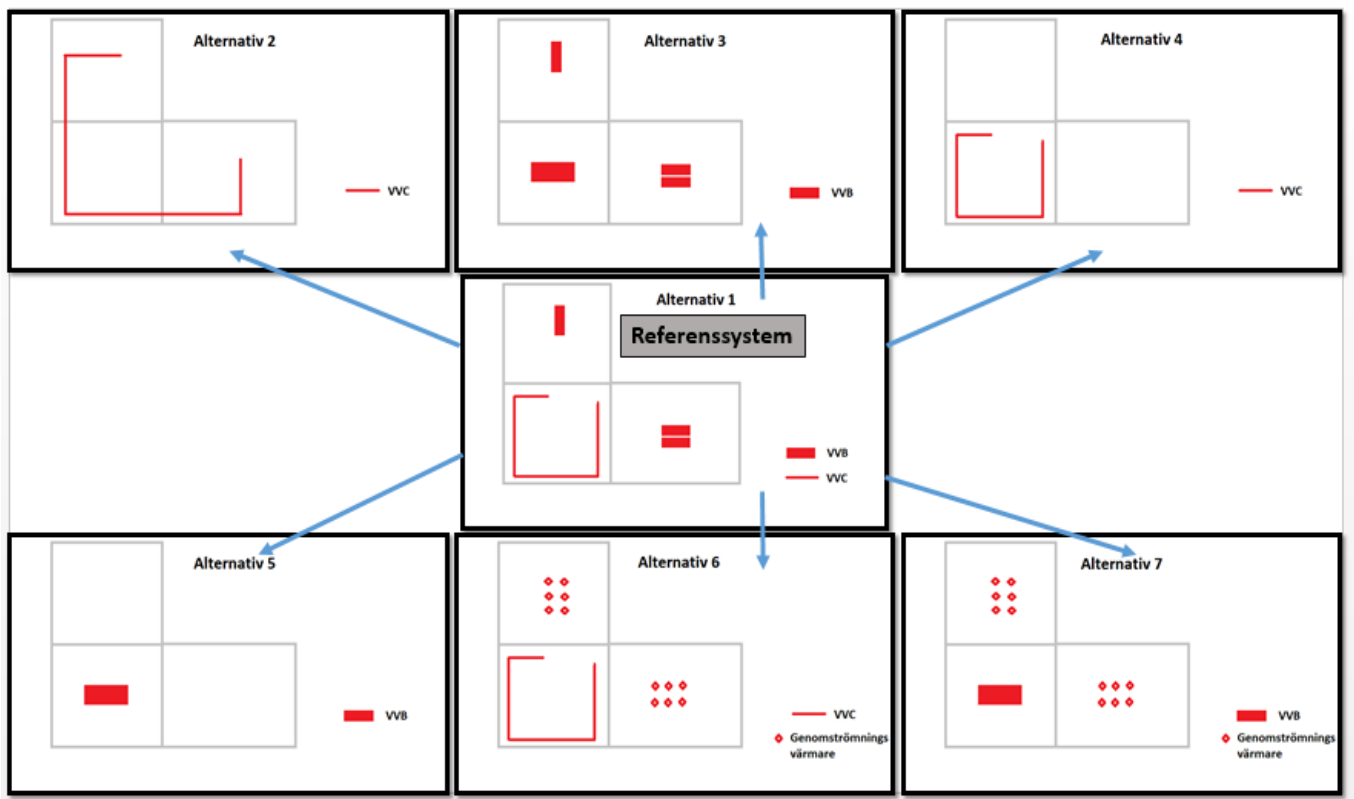
Prognoser gjordes för att se om minskade utsläpp från fjärrvärme kan ge någon brytpunkt när alternativen ställs mot varandra. Prognoserna är i linje med Göteborg Energi:s mål att nå fossilfri och lägre klimatpåverkan från fjärrvärme, till år 2030 (Göteborg Energi, 2017). I kap 5 Resultat jämförs alternativen med aktuellt värde och prognos 3. Prognos 1 och 2 tillämpas inte i detta arbete då prognos 3, som utgör ett slags drömscenario, gav det intressanta utfallet. Prognos 1 och 2 kan däremot tillämpas i framtida studier för att se hur mer ”realistiska” scenarier ser ut.

## 4 Systemlösningar

I detta kapitel presenteras systembeskrivning och miljöpåverkan av de olika systemalternativen som tagits fram. För dessa alternativ innefattar beteckningen ”VVC” drift från fjärrvärme med VVC-krets. Förrådsberedare och genomströmningsberedare drivs av el.

Alternativ:

1. VVC i kärnan, VVB(F) i förskoleavdelningar (Referenssystem, befintligt system på *Grönskan*)
2. VVC i hela systemet
3. VVB(F) i hela systemet
4. VVC i kärnan (Endast VV i kärnan)
5. VVB(F) i kärnan (Endast VV i kärnan)
6. VVC i kärnan, genomströmningsberedare i förskoleavdelningar
7. VVB(F) i kärnan, genomströmningsberedare i förskoleavdelningar



Figur 6 Principiell skiss av utformning för de olika alternativen

Tabell 3 Metod för varmvattenförsörjning för de olika alternativen.

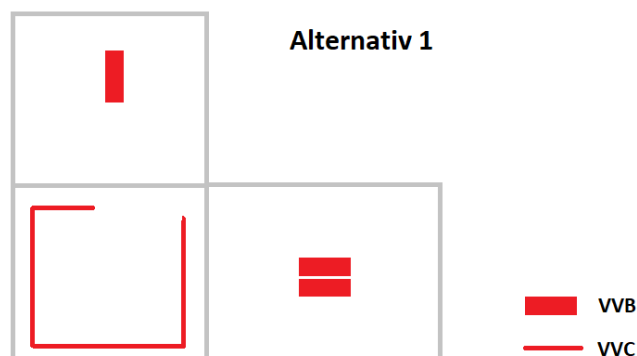
Alternativ	Kärnan		Förskoleavdelningar		
	FJV / VVC	VVB(F)	FJV / VVC	VVB(F)	VVB(G)
1 (Referens)	X			X	
2	X		X		
3		X		X	
4	X				
5		X			
6	X				X
7		X			X

Tappvarmvatten värms antingen genom fjärrvärmväxlare med VVC-krets, förrådsberedare eller genomströmningsberedare. Dessa metoder används separat eller i kombination med varandra i de olika alternativen.

Avsnitt 4.1 – 4.7 ger en mer djupgående beskrivning samt värden för klimatpåverkan från material och drift för alternativen. I avsnitt 4.1-4.7 redovisas resultat i tabeller. Beräkningsgång redovisas i *Bilaga 9 Beräkningsgång VV Rör (Samma princip för rörisolering)*, *Bilaga 10 Beräkningsgång VVB(F) (Samma princip med genomströmningsb.)*, *Bilaga 11 Beräkningsgång drift* och *Bilaga 12 Beräkningsgång för värmeavgång av VVC under avstängd tid*.

Resultaten redovisas som *global warming potential (GWP)*, vilket är ett mått på utsläpp i form av kg CO<sub>2</sub>-ekv.

#### 4.1 Alternativ 1: Referenssystem



Figur 7 Principiell skiss av utformning för alternativ 1

Referenssystemet är utformat med VVC i kärnan och förrådsberedare på förskoleavdelningarna se *Bilaga 1 Principskiss över varmvattensystemet i referenssystemet*. En Life-cycle cost-analys (LCC) gjordes i *Grönskans* förstadie som visade att referenssystemet var mer lönsamt inom en 20 års period än VVC i hela systemet. Systemlösningen ger god funktion för brukare med tillgång till varmvatten i förskoleavdelningar, personalrum och storkök. VVC i kärnan ger stor frihet för storkökets varmvattenanvändning. Pumpeffekt för VVC är antagen till 10W i tidigare gjord LCC-analys, och tillämpas i denna beräkning. Siffror är avrundande.

#### 4.1.1 Material

Tabell 4 kg CO<sub>2</sub>-ekv per kg rör, se Bilaga 2 Byggvarudeklaration för LK PAL Universalrör för samtliga ingående material

<b>LK PAL Universalrör</b>				
Ingående material	Polypropen	Aluminium	PE-RT	Övriga
Viktprocent	20%	14%	60,5%	5%
GWP, material [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	1,5	13,5	2,1	0
GWP, tot [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	0,3	1,9	1,3	0
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>3,7</b>			

Tabell 5 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i referenssystemet.

<b>VV Rör</b>				<b>Rörisolering</b>	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]		Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	425	43		19	67
20	20	3		60	24
25	41	12		60	54
32	17	5		60	24
Summa Vikt [kg]		63			168
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		<b>231</b>			<b>304</b>

Tabell 6 kg CO<sub>2</sub>-ekv för Nibe Eminent 100E

<b>Nibe Eminent 100E</b>				
Vikt [kg]	36			
Ingående material	Isolering	Polymerer	Stål	Övriga
Viktprocent	5%	8%	78%	9%
Vikt [kg]	1,9	2,8	27,9	3,3
GWP, material [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	1,8	2,1	2,1	1
GWP, tot [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	3,5	5,9	58,4	3,3
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>71,1</b>			

Tabell 7 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för VVB(F) i referenssystemet.

<b>VVB(F)</b>	
Antal [st]	3
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>213</b>

## 4.1.2 Drift

Tabell 8 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i referenssystemet, uppdelat efter energislag.

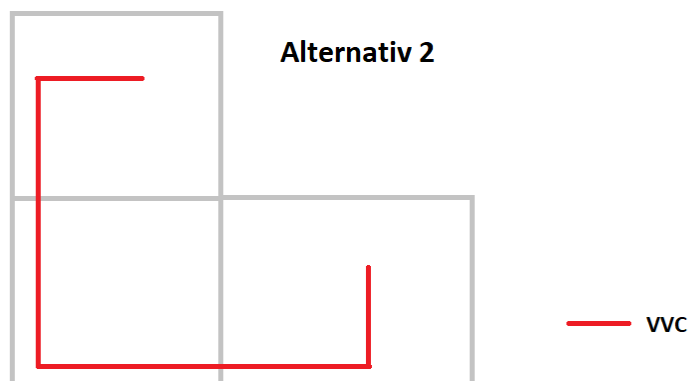
Fjärrvärme		El	
Fjärrvärmeväxlare		Pump	
Morgonuppvärmning [kWh/år]	376	Pumpning [kWh/år]	28
KV-uppvärmning [kWh/år]	5395	Förrådsberedare	
VVC-uppvärmning [kWh/år]	1399	Uppvärmning [kWh/år]	7228
Summa energiåtgång [kWh/år]	7170		7255
Summa CO <sub>2</sub> -ekv [kg/år]	459		73

## 4.1.3 Värmeavgång

Tabell 9 Värmeavgången för givna rördimensioner i referenssystemet.

Dimension [m]	Längder [m]	Värmeavgång [kWh/dag]
16	425	3,19
20	20	0,23
25	41	0,75
32	17	0,52
		4,69

## 4.2 Alternativ 2: VVC i hela systemet



Figur 8 Principiell skiss av utformning för alternativ 2

Denna systemlösning utgörs av en VVC-slinga genom hela byggnaden, se *Bilaga 5 Schematisk ritning för Grönskan*, och ger god försörjning av varmvatten i hela förskolan. Material för förrådsberedare försvinner och längre VVC-ledningar tillkommer. Alternativet är helt beroende av fjärrvärme för uppvärmning av tappvatten, vilket ger en hög CO<sub>2</sub>-ekv. Pumpeffekt för VVC är antagen till 25W då längd av VVC-ledningar ökar med ungefär faktor 2,5 jämfört med alternativ 1.



## 4.2.1 Material

Tabell 10 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 2.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	488	50	19	67
20	20	3	60	24
25	41	12	60	54
32	12	4	60	17
Summa Vikt [kg]		68		161
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		249		291

## 4.2.2 Drift

Tabell 11 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 2, uppdelat efter energislag.

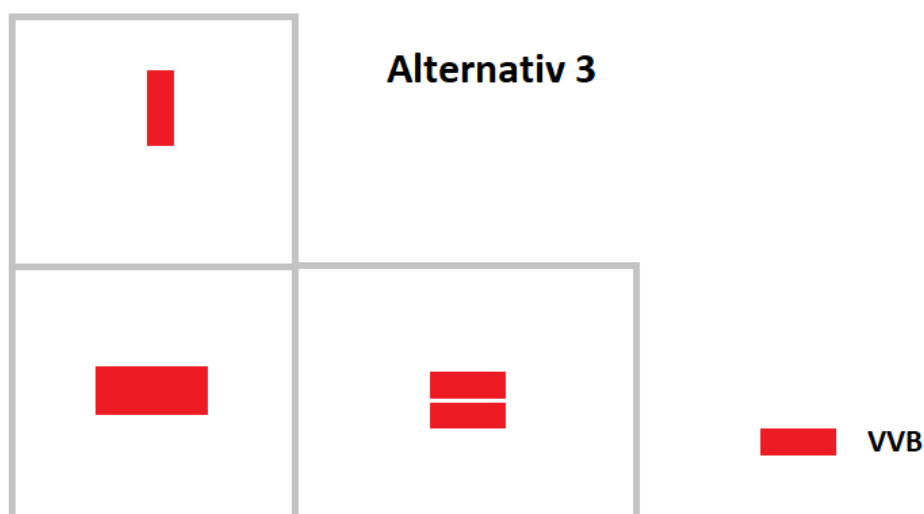
Fjärrvärme		El	
Fjärrvärmväxlare		Pump	
Morgonuppvärmning [kWh/år]	909	Pumpning [kWh/år]	69
KV-uppvärmning [kWh/år]	12 622	<b>Förrådsberedare</b>	
VVC-uppvärmning [kWh/år]	4 198	Uppvärmning [kWh/år]	0
Summa energiåtgång [kWh/år]	17 729		69
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv/år]	1 135		0,7

## 4.2.3 Värmeavgång

Tabell 12 Värmeavgången för alternativ 2.

Värmeavgång [kWh/dag]	7,68
-----------------------	------

### 4.3 Alternativ 3: VVB(F) i hela systemet



Figur 9 Principiell skiss av utformning för alternativ 3

Med förrådsberedare i hela systemet ges samma förutsättningar för förskoleavdelningar som i referenssystemet, men VVC-kretsen i storköket ersätts med en förrådsberedare med extra stor kapacitet. Varmvattenanvändningen i storköket sker intensivt under en kortare period av dagen, och det är därför viktigt att förrådsberedaren kan tillhandahålla en tillräckligt stor volym varmvatten. Varmvattenflödet för storköket har beräknats till 303 liter per dag, se *Bilaga 6 Uträkning av varmvattenbehov för storkök*. Materialet för förrådsberedaren i köket har uppskattats vara 2,5 gånger mer än Nibe Eminent 100E.

#### 4.3.1 Material

Tabell 13 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 3.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	381	39	19	67
20	20	3	60	24
25	41	12	60	54
32	17	5	60	24
Summa Vikt [kg]		59		168
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		<b>215</b>		<b>304</b>

Tabell 14 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för VVB(F) i alternativ 3.

VVB(F)	
Antal [st]	3+2,5
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>391</b>

### 4.3.2 Drift

Tabell 15 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 3, uppdelat efter energislag.

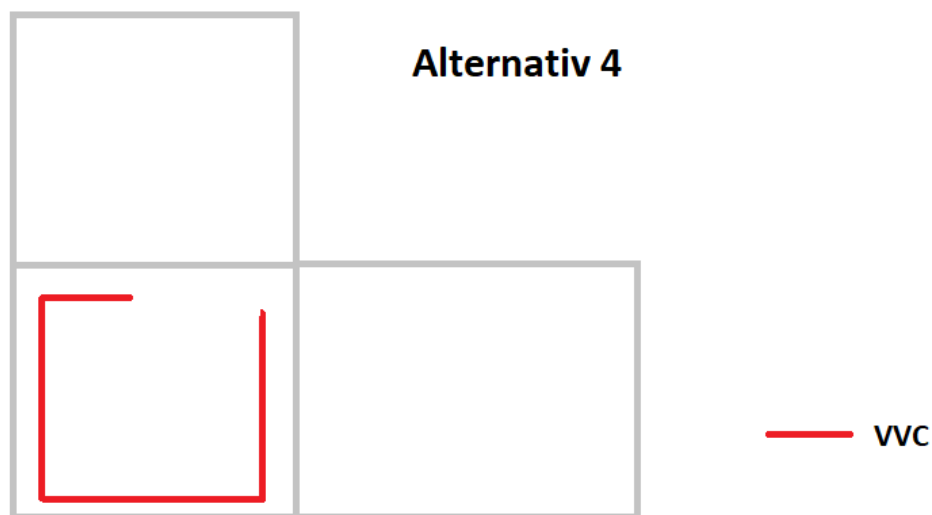
El	
Förrådsberedare	
Uppvärmning [kWh/år]	12 622
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv/år]	126

### 4.3.3 Värmeavgång

Tabell 16 Värmeavgången för alternativ 3.

Värmeavgång [kWh/dag]	4,36
-----------------------	------

## 4.4 Alternativ 4: Endast varmvatten i kärnan, VVC



Figur 10 Principiell skiss av utformning för alternativ 4

Med detta alternativ försvinner en stor mängd rör, men även tillgång till varmvatten i förskoleavdelningar. Systemet visar hur stor miljöpåverkan storköket och personalrummet ger. VVC-systemet är utformat likadant som i alternativ 1.

#### 4.4.1 Material

Tabell 17 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 4.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	194	20	19	26
20	8	1	60	10
25	16	4	60	20
32	23	7	60	32
Summa Vikt [kg]		32		88
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		118		160

#### 4.4.2 Drift

Tabell 18 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 4, uppdelat efter energislag.

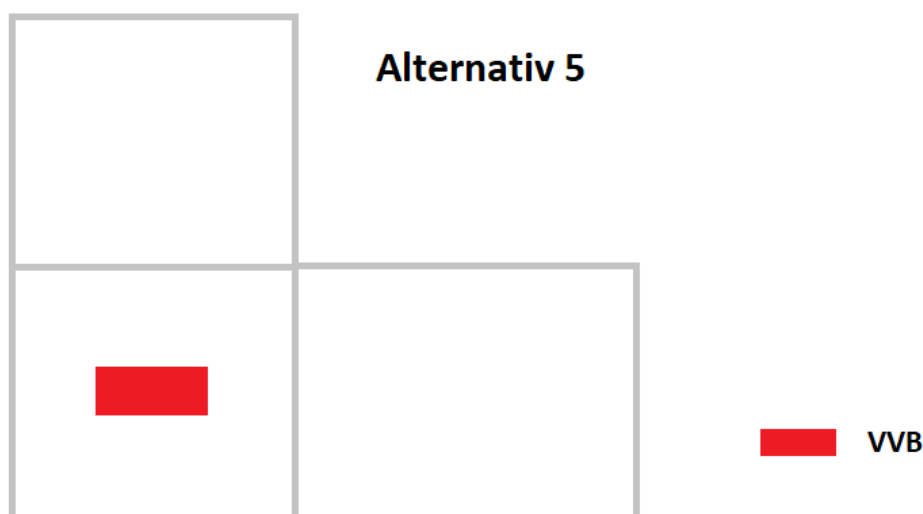
Fjärrvärme		El	
Fjärrvärmväxlare		Pump	
Morgonuppvärmning [kWh/år]	376	Pumpning [kWh/år]	28
KV-uppvärmning [kWh/år]	5 395	<b>Förrådsberedare</b>	
VVC-uppvärmning [kWh/år]	1 399	Uppvärmning [kWh/år]	0
Summa energiåtgång [kWh/år]	7 170		28
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv/år]	459		0,3

#### 4.4.3 Värmeavgång

Tabell 19 Värmeavgången för alternativ 4.

Värmeavgång [kWh/dag]	2,53
-----------------------	------

## 4.5 Alternativ 5: Endast varmvatten i kärnan, VVB(F)



Figur 11 Principiell skiss av utformning för alternativ 5

Med endast förrådsberedare i kärnan ges förutsättningar för varmvatten i kök och personalrum. I resterande avdelningar där endast förskoleverksamhet sker finns endast kallvatten. Förrådsberedaren i kärnan har en extra stor kapacitet som kan täcka varmvattenbehovet för kök och personalrum. För förrådsberedare i hela systemet, vilket är beskrivet tidigare, är varmvattenanvändningen i storköket intensiv under en kortare period under dagen, och det är därför viktigt att förrådsberedaren har tillräcklig kapacitet för att tillhandahålla köket med erforderlig mängd varmvatten. Varmvattenflödet för storköket har beräknats till 303 liter per dag, se *Bilaga 6 Uträkning av varmvattenbehov för storkök*. Materialet för förrådsberedaren i köket har uppskattats vara 2,5 gånger mer än Nibe Eminent 100E.

### 4.5.1 Material

Tabell 20 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 5.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	86	9	19	15
20	8	1	60	10
25	25	7	60	33
32	0	0	60	0
Summa Vikt [kg]		17		58
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		<b>63</b>		<b>104</b>

Tabell 21 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för VVB(F) i alternativ 5.

<b>VVB(F)</b>	
Antal [st]	2,5
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>178</b>

#### 4.5.2 Drift

Tabell 22 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 5, uppdelat efter energislag.

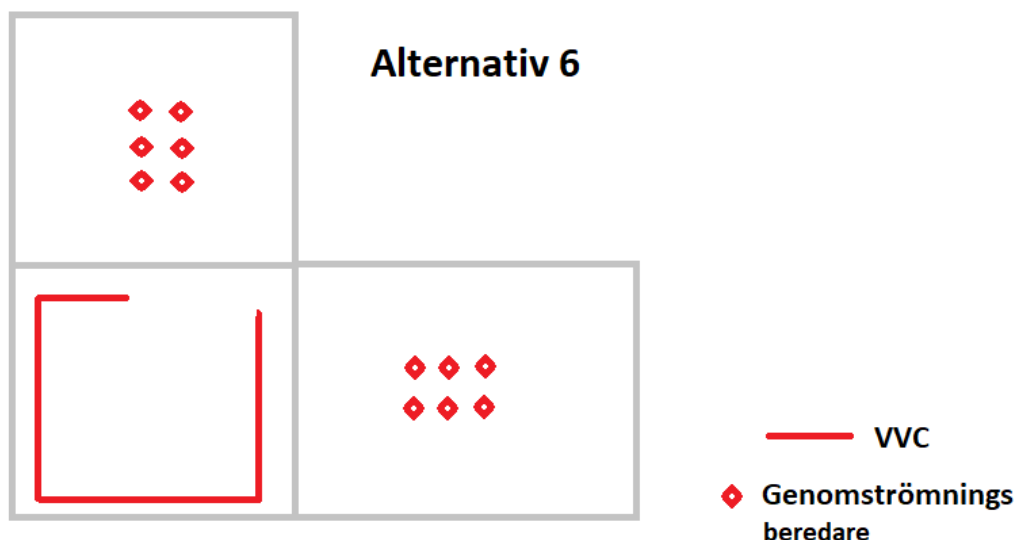
<b>El</b>	
<b>Förrådsberedare</b>	
Uppvärmning [kWh/år]	5 395
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv/år]	<b>54</b>

#### 4.5.3 Värmeavgång

Tabell 23 Värmeavgången för alternativ 5.

Värmeavgång [kWh/dag]	<b>1,20</b>
-----------------------	-------------

### 4.6 Alternativ 6: Genomströmningsberedare vid tappställen, VVC i kärna



Figur 12 Principiell skiss av utformning för alternativ 6

Detta alternativ har, likt referenssystemet, VVC i kärnan. Det som skiljer sig från tidigare alternativ är att man i de övriga avdelningarna får varmvatten via en genomströmningsberedare vid varje tappställe. Den genomströmningsberedare som detta alternativ projekteras efter, har en effekt på 3,5 kW och ger ett varmvattenflöde på 1,8 liter per minut vid en temperaturhöjning på 28°C, se *Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END*.

## 4.6.1 Material

Tabell 24 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 6.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	194	20	19	26
20	8	1	60	10
25	16	4	60	20
32	23	7	60	32
Summa Vikt [kg]		32		88
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		<b>118</b>		<b>160</b>

Tabell 25 Kg CO<sub>2</sub>-ekv för genomströmningsberedare

Genomströmningsberedare				
Vikt [kg]	1			
Ingående material	Isolering	Polymerer	Stål	Övriga
Viktprocent	5%	8%	78%	9%
Vikt [kg]	0,05	0,08	0,78	0,09
GWP,material [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	1,8	2,1	2,1	1
GWP,tot [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	0,1	0,2	1,6	0,1
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>1,97</b>			

Tabell 26 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för genomströmningsberedare i alternativ 6.

Genomströmningsberedare	
Antal [st]	54
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>107</b>

## 4.6.2 Drift

Tabell 27 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 6, uppdelat efter energislag.

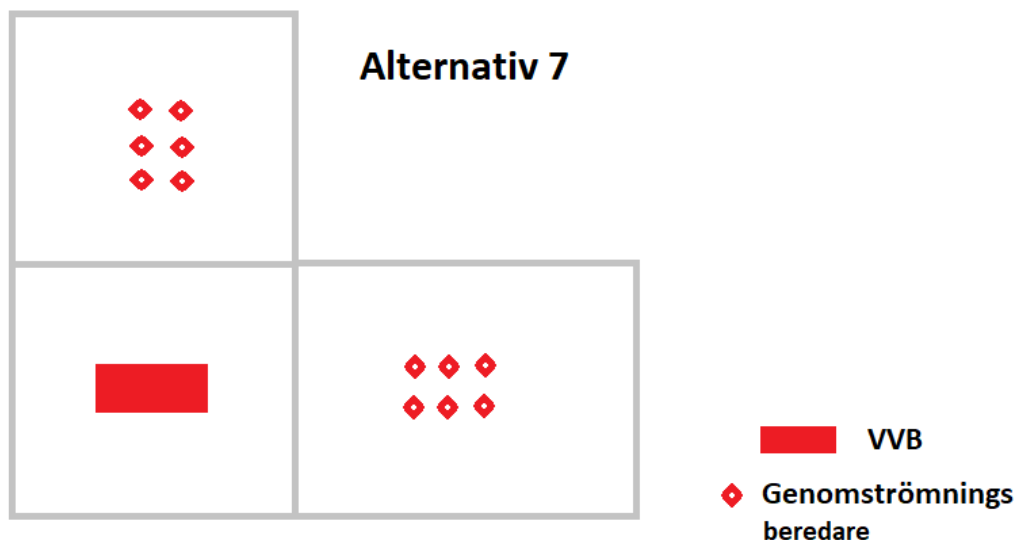
Fjärrvärme		El	
Fjärrvärmewäxlare		Pump	
Morgonuppvärmning [kWh/år]	376	Pumpning [kWh/år]	28
KV-uppvärmning [kWh/år]	5395	Genomströmningsberedare	
VVC-uppvärmning [kWh/år]	1399	Uppvärmning [kWh/år]	4025
Summa energiåtgång [kWh/år]	7170		4053
Summa CO <sub>2</sub> -ekv [kg/år]	<b>459</b>		<b>41</b>

### 4.6.3 Värmeavgång

Tabell 28 Värmeavgången för alternativ 6.

Värmeavgång [kWh/dag]	2,53
-----------------------	------

## 4.7 Alternativ 7: Genomströmningsberedare vid tappställen, VVB(F) i kärna



Figur 13 Principiell skiss av utformning för alternativ 7

Detta alternativ har, likt alternativ 5, förrådsberedare i kärnan. Likt alternativ 6 får man i de övriga avdelningarna varmvatten via en genomströmningsberedare vid varje tappställe. Den genomströmningsberedare som detta alternativ projekteras efter har en effekt på 3,5 kW och ger ett varmvattenflöde på 1,8 liter per minut vid en temperaturhöjning på 28°C, se *Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END*.

### 4.7.1 Material

Tabell 29 Total vikt och kg CO<sub>2</sub>-ekv för rör och isolering i alternativ 7.

VV Rör			Rörisolering	
Dimension [mm]	Längd [m]	Vikt [kg]	Tjocklek [mm]	Vikt [kg]
16	86	9	19	15
20	8	1	60	10
25	25	7	60	33
32	0	0	60	0
Summa Vikt [kg]		17		58
GWP summa [kg CO <sub>2</sub> -ekv]		63		104



Tabell 30 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för VVB(F) i alternativ 7.

<b>VVB(F)</b>	
Antal [st]	2,5
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>178</b>

Tabell 31 Total kg CO<sub>2</sub>-ekv material för genomströmningsberedare i alternativ 7.

<b>Genomströmningsberedare</b>	
Antal [st]	54
GWP [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	<b>107</b>

#### 4.7.2 Drift

Tabell 32 Andel kWh/år och kg CO<sub>2</sub>-ekv/år för drift i alternativ 7, uppdelat efter energislag.

<b>EI</b>	
<b>Förrådsberedare</b>	
Uppvärmning [kWh/år]	5395
<b>Genomströmningsberedare</b>	
Uppvärmning [kWh/år]	4025
Summa energiåtgång [kWh/år]	9420
Summa CO <sub>2</sub> -ekv [kg/år]	<b>94</b>

#### 4.7.3 Värmeavgång

Tabell 33 Värmeavgången alternativ 7.

Värmeavgång [kWh/dag]	<b>1,20</b>
-----------------------	-------------

## 5 Resultat

I detta kapitel presenteras resultat för de systemlösningar som studerats med utgångspunkt från beskrivningar i *kapitel 3* och värden från *kapitel 4*. Först presenteras en jämförelse av alla system, och sedan en kortare beskrivning för de två bäst lämpade alternativen att implementera i *Hoppet*. De alternativen som föreslås till *Hoppet* är valda utifrån funktion för brukare och utsläpp sett till CO<sub>2</sub>-ekv.

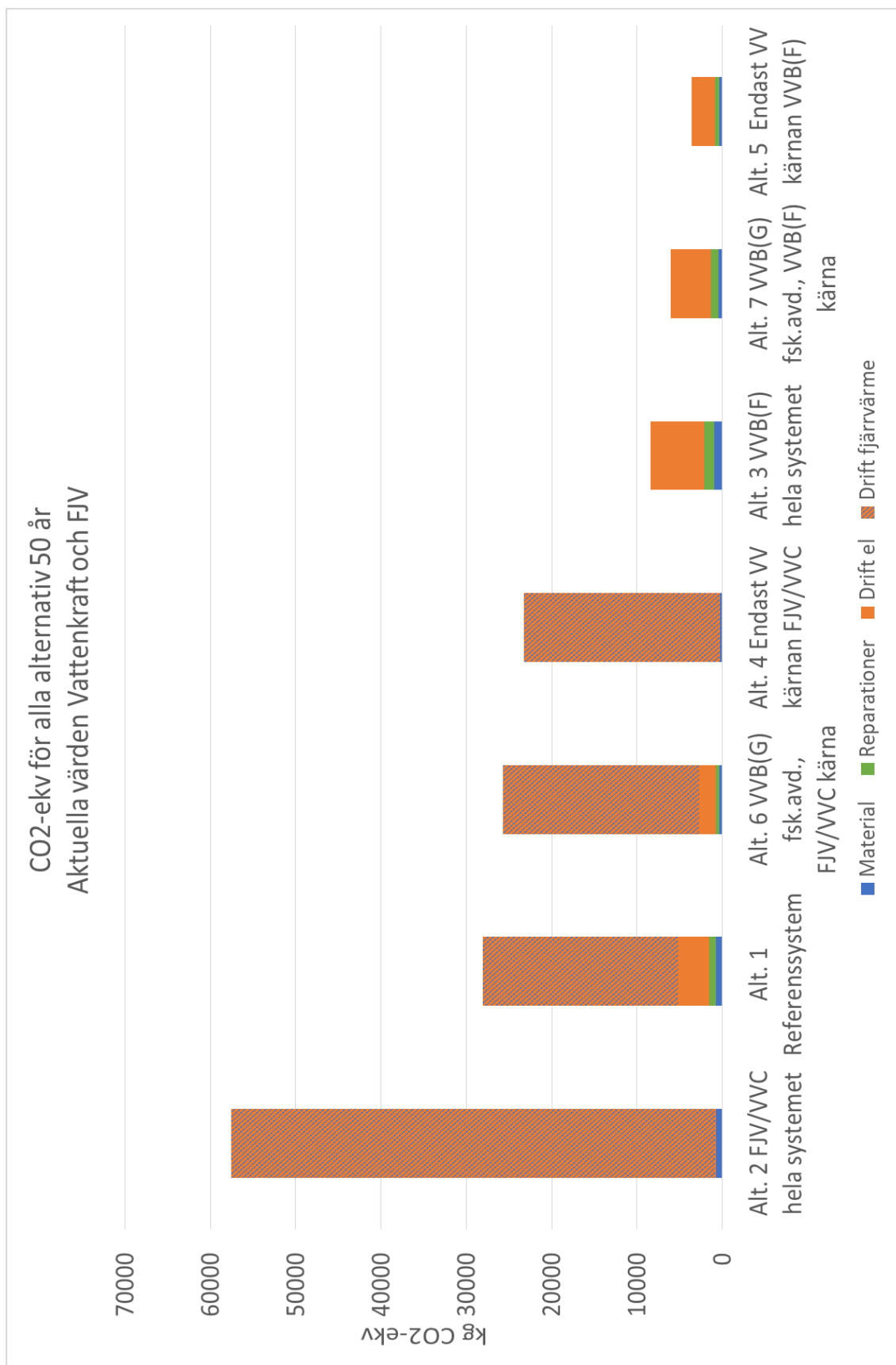


Diagram 1 Koldioxidutsläpp för samtliga alternativ under 50 år, med aktuella värden för vattenkraft och fjärrvärme

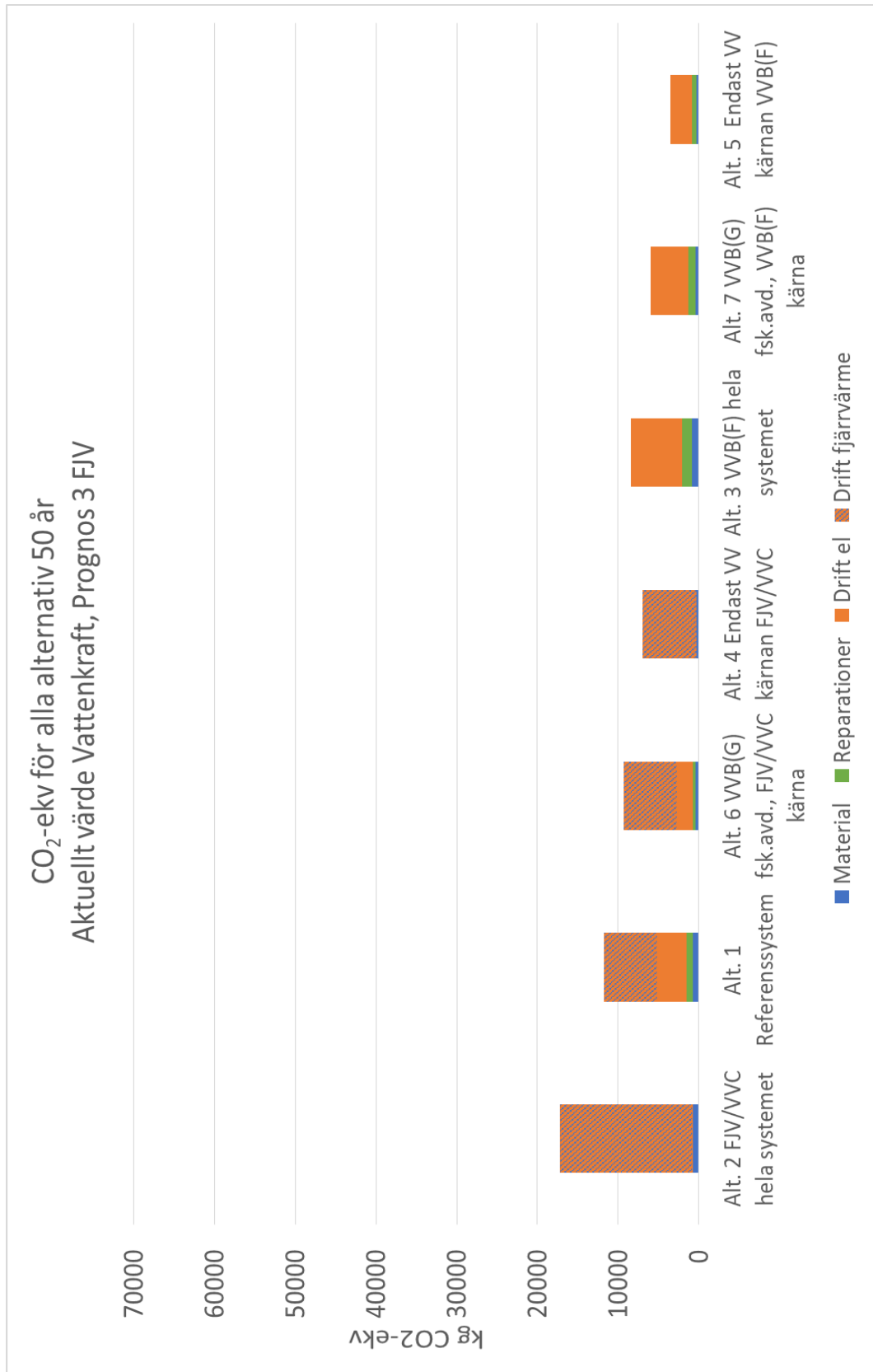


Diagram 2 Koldioxidutsläpp för samtliga alternativ under 50 år, med aktuellt värde för vattenkraft och prognos 3 för fjärrvärme

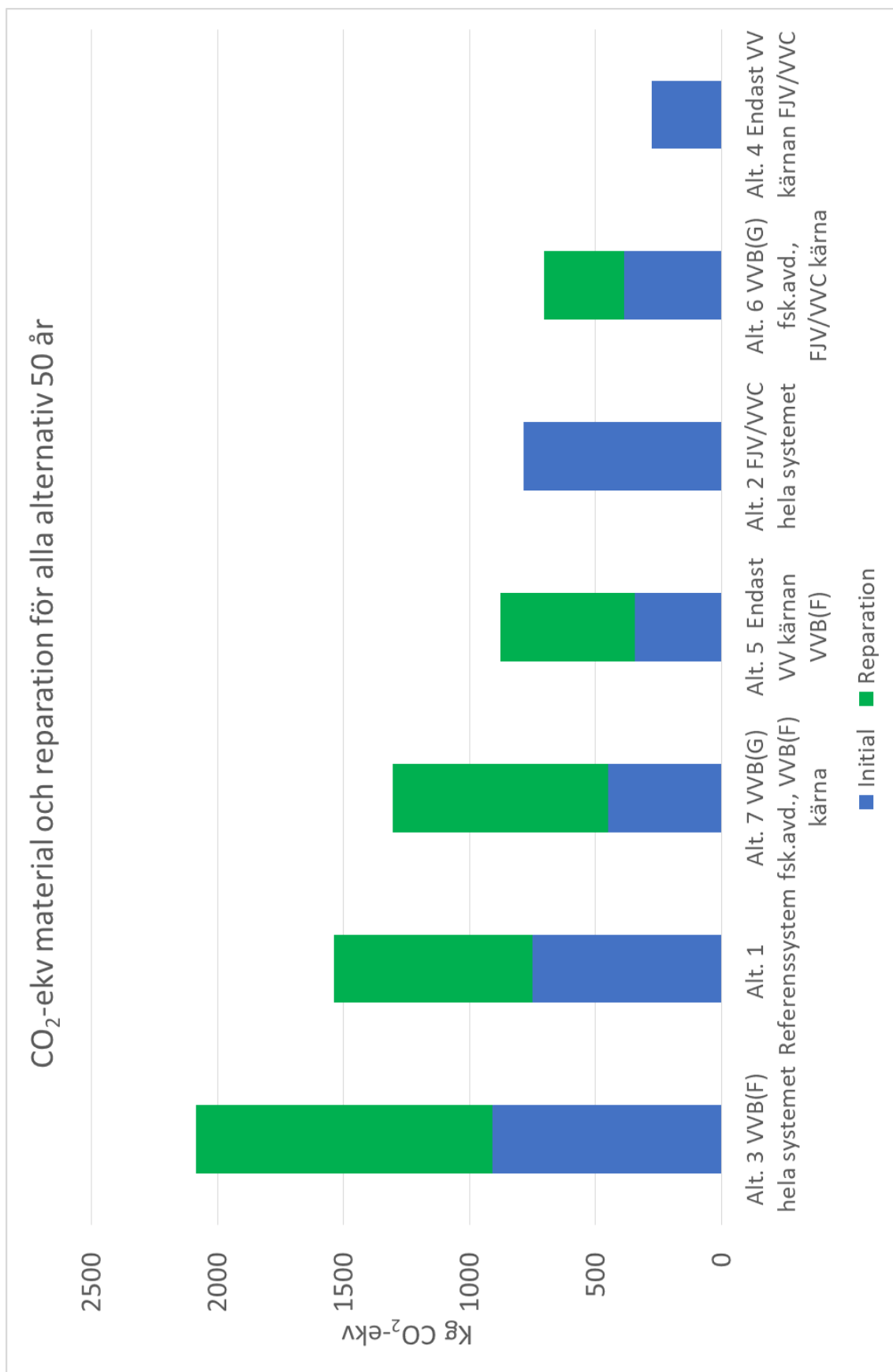
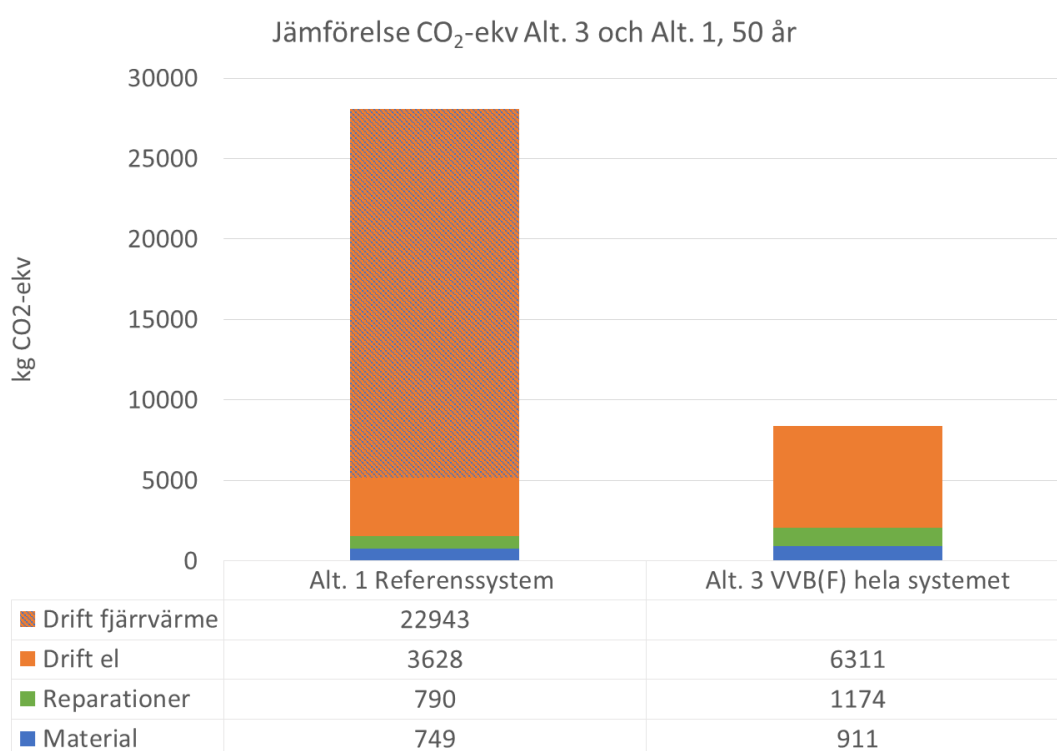


Diagram 3 Koldioxidutsläpp för material och reparation för samtliga system under 50 år

Som *Diagram 1* visar står utsläppen från drift för en majoritet av klimatbelastningen under 50 år. I jämförelse med *Diagram 2* illustreras känsligheten för ändrade utsläpp från fjärrvärme. *Diagram 2* tillämpar prognos 3 för fjärrvärme, se *Figur 5*, från start till slut av 50årsperioden, ett mer realistiskt scenario skulle vara att utsläppen började med aktuellt värde och sedan minskar tills de uppnår prognosens värde efter ett visst antal år. Anledningen till att ett sådant diagram inte presenteras är för att visa *Diagram 2* som ett drömscenario där utsläpp för fjärrvärme är mycket låga, men de alternativ som betraktas som realistiska förslag till *Hoppet* hamnar ändå i samma rangordning gällande utsläpp av kg CO<sub>2</sub>-ekv. Alternativ 3 och 7, som anses lämpliga till *Hoppet* redovisas nedan i jämförelse med referenssystemet, med aktuella värden för vattenkraft och fjärrvärme.



*Diagram 4 jämförelse kg CO<sub>2</sub>-ekv alternativ 3 och referenssystem*

Alternativ 3, förrådsberedare i hela systemet bibehåller samma funktioner som referenssystemet men är inte beroende av fjärrvärme. Klimatbelastningen minskar med 19 714 kg CO<sub>2</sub>-ekv (70 %) under 50årsperioden. Alternativ 3 har något högre klimatbelastning från material och reparation, men sett till totala utsläppen är det en stor minskning.

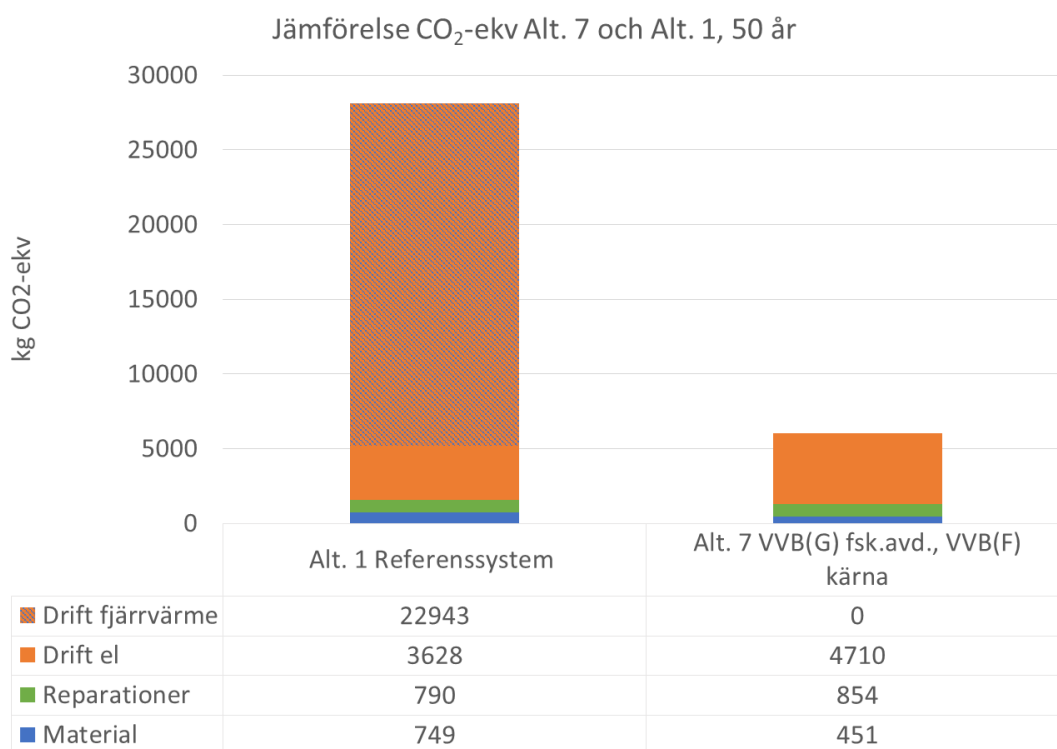


Diagram 5 jämförelse kg CO<sub>2</sub>-ekv alternativ 7 och referenssystem

Alternativ 7, genomströmningsberedare och VVB(F) i kärnan ger samma förutsättningar som alternativ 3 i kärnan. Ingen fjärrvärme används för detta alternativ vilket ger låga utsläpp jämfört med referenssystemet. Alternativet ger en minskning jämfört med referenssystemet på 22 095 kg CO<sub>2</sub>-ekv (79 %) under 50årsperioden. På förskoleavdelningar ger genomströmningsberedare tappvarmvatten med en lägre energikostnad jämfört med VVB(F) och VVC. Funktionen kan påverkas i viss mån med avseende på utgående tappvarmvattenflöde, men detta kan lösas genom att genomströmningsberedare med erforderlig effekt installeras. För detta alternativ har en genomströmningsberedare med massan 1 kg och samma ingående material samt viktprocent som en förrådsberedare använts vid beräkningar. Huruvida detta motsvarar en genomströmningsberedare med erforderlig effekt för ett varmvattenflöde på 0,1 liter per sekund bör undersökas vidare, då materialbelastningen antagligen blir marginellt högre för en större genomströmningsberedare. Vidare analys bör kontrollera att tillräcklig effekt kan tillhandahållas då flera genomströmningsberedare arbetar samtidigt. Rörmängd och värmeförluster från rör för alternativ 7 är minimala då endast kallvattenledningar dras fram till tappställen i förskoleavdelningar.

## 5.1 Övriga studier

Här presenteras studier om minskade rördimensioner och minskad godstjocklek, borttagning av tappställen, borttagning av varmvatten vid tappställe, och ändrad blandningstemperatur. Först presenteras en sammanfattning av en workshop om fossilfria installationer.

### Workshop fossilfria installationer

Vi medverkade i en workshop med fokus på fossilfria installationer som genomfördes vid slutet av arbetet. Workshopen anordnades av LF och deltagare var bland annat BDAB, ledande rörtillverkare och forskare inom området. Diskussionen berörde utmaningar och möjligheter för att tillverka och använda fossilfria rör. För *Hoppet*, som ska stå klar år 2021, skulle det i princip vara omöjligt att få fossilfria rör, främst på grund av certifikations- och standardiseringsprocessen av nya produkter och tillgång till alternativ som är bättre än de PE-plaströr som är projekterat efter. Återanvändning av trycksatta rör måste också genomgå en lång process, för att säkerställa kvalitet. Möjligheter för att återanvända rör, samt rör av nya material finns dock för dränerings-, VP- och kabelskyddsror då dessa ej är trycksatta (samt kan ligga utanför byggnaden) och därmed inte lika standardiserade. En annan utmaning är tillgången till biobaserade råmaterial som kan förse en storskalig bioplastproduktion. Det finns tillgång till biobaserad eten som tillverkas av bioetanol från tallolja, alkohol (jäst gröda) och avfall. Detta har fått genomslag i bränsleindustrin med förnyelsebar diesel och nafta till bensin, och förhoppningsvis står plasttillverkning inför samma revolution. Även om bränsle och plast konkurrerar om samma förnyelsebara råvara skulle stoppade råoljesubventioner och bättre subventioner för biobaserade råvaror underlätta utvecklingen. Tekniken finns att tillverka biobaserad plast, men det kan behöva hjälpande lagstiftning för att ta fart och börja konkurrera storskaligt. En tydlig LCA behöver utföras för att säkerställa att förnyelsebara material är hållbara inom flera parametrar. Ett exempel som kom upp berörde komplikation av att odla sockerbetor för etenframställning, vilket skulle innebära att man påverkar livsmedelsproduktionen och tar upp stora odlingsytor, vilket i sin tur genererar nya utmaningar.

### Rördimensioner och godstjocklek

*Hoppet* har som mål att vara fossilfri, gällande material och drift. Om all energi antas vara fossilfri är det endast material som behövs ta hänsyn till. Som beskrivits ovan kommer det ta ett antal år innan helt fossilfria alternativ finns på marknaden. Det man i dagsläget kan arbeta med, utöver att utveckla fossilfria material, blir därmed att minska material genom ändrad och optimerad rördragning, samt att eventuellt ta bort vissa funktioner och komponenter helt. En lösning som kan utvecklas är att minska rördimensioner eller att minska godstjocklek. Standard rördimensioner för tappvatten är 12-, 16-, 20-, 25-, 32- och 40 mm. Rör på 12 mm utgörs av synliga kopparrör som ansluter till tappstället. Att arbeta med dessa standarddimensioner gör byggprocessen lättare, men eftersom de endast finns i bestämda intervall och inte individuellt utformade till ett specifikt system kan de ge en ökad materialåtgång. Minskning av tvärsnittsarea redovisas i *Tabell 34*. Genom att gå ner en storlek i standarddimension kan ökat slitage och ljudproblem uppstå. Med minskad godstjocklek kan kvalitet och hållfasthet försämrast.

*Tabell 34* Procentuell minskning av tvärsnittsarea och vikt per löpmeter vid minskad rördimension för LK PAL universalrör



Ändring av dimension	Procentuell minskning av tvärsnittsarea och vikt per löpmeter [%]
20 till 16	36
25 till 20	44
32 till 25	5
40 till 32	31

Resultaten visar att majoriteten av rören i systemen är av 16mm, och 40mm används inte. Störst procentuell minskning sker vid minskning från 25mm till 20mm, men eftersom det är relativt liten mängd av dessa rör i systemen skulle det ge en liten effekt på klimatbelastningen. Samma princip gäller för minskningen från 20mm till 16mm.

### **Borttagning av tappställe / borttagning av varmvatten från tappställe**

Om tappställen skulle tas bort minskar materialåtgången, men funktionen för brukare blir sämre. Från *Grönskans* ritning uppskattas det gå åt ungefär 14 m tappvattenrör från fördelning till tappställe, varav 7 m tappvarmvattenrör. Dessa rör har dimension 16 mm med 19 mm rörisolering. Genom att ta bort ett sådant tappställe minskar den initiala klimatbelastningen med ungefär 5 kg CO<sub>2</sub>-ekv från tappvattenrör och 4 kg CO<sub>2</sub>-ekv från rörisolering, samt material från övriga komponenter som tappvattenkran och handfat med mera. Sammanlagt 9 kg CO<sub>2</sub>-ekv är relativt lite och i samma storleksordning som klimatbelastning från en måltid bestående av stor bit nötkött (Persson, Johansson, Cederberg, Hedenus, & Bryngelsson, 2015). Klimatvinsten är liten vid borttagning av tappställe och måste ställas i relation till försämringen av komforten, som i detta fall kan anses mer aktuellt. Där genomströmningsberedare används krävs endast tappkallvattenledning, vilket är positivt då åtgång av rör- och isolermaterial minskar samtidigt som tappvarmvatten ändå finns att tillgå.

Hur skulle brukare reagera på att varmvatten inte finns tillgängligt vid tappställe och hur skulle deras beteende ändras? Utöver besparingen i materialväg skulle borttagning av tillgången till varmvatten vid tappställen ge en direkt minskning av tappvarmvattenförbrukningen, och därmed minska utsläppen från drift. Huruvida detta stämmer återstår att undersökas, en konsekvens av tappställen utan varmvatten skulle kunna vara att de aldrig används, och inte fyller någon funktion.

### **Blandningstemperatur**

En lösning som skulle kunna implementeras på samtliga alternativ är att sänka maximal blandningstemperatur. En lägre högsta temperatur som går att få ut vid tappställen kan potentiellt minska varmvattenförbrukningen. I dagsläget är blandningstemperatur satt till maximalt 38 °C (VCON, 2017). Med denna maximala temperatur minimeras risken för skällning. För att få 38 °C vatten, från system med VVC och förrådsberedare, blandas 58 % av 50 °C varmvatten med 42 % av 6 °C kallvatten. Om maximal blandningstemperatur skulle sänkas till exempelvis 30 °C skulle andelen varmvatten utgöra 52 %. Om samma volym blandat varmvatten antas användas minskar det dagliga varmvattenbehovet från 640 liter till ungefär 574 liter. Denna temperatursänkning skulle medföra minskade utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv.

Om temperatursänkningen av blandningstemperaturen är rimligt eller inte, behöver utvärderas vidare. Under årets kalla månader känns det rimligt att lite varmare tappvatten är skönt efter en rast utomhus. I så fall skulle en konsekvens av sänkt

blandningstemperatur vara att vattnet spolats under en längre tid, och samma mängd varmvatten förbrukas. Gällande hygien visar studier att kallt (16 °C) eller varmt vatten (38 °C) inte hade betydande inverkan för att få bort bakterier vid handtvätt (Jensen, o.a., 2017)

## 6 Diskussion

Resultaten visar att material står för en liten del av den totala klimatbelastningen, medan drift står för den stora påverkan. Drift blir därför det område där fokus bör läggas på om utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv skall minimeras. Som nämnts i avsnitt 5.1 ger materialminskningar i form av borttagning av tappställen liten påverkan sett till klimatbelastning. Alternativ 3 har högst klimatbelastning från material av alla alternativ, se

*Diagram 3*, men även en av de lägsta belastningarna från drift och därmed låg totalbelastning, se *Diagram 1*. Det är även en av systemlösningarna som rekommenderas till *Hoppet* då den ger god funktion för brukare. Ur livscykelperspektivet är denna lösning bra även om klimatbelastningen från material är hög, men som alla alternativ är den starkt beroende av hur framtidens utsläpp från energikällorna ser ut.

### Tappvarmvattenanvändning

Det alternativet med lägst koldioxidutsläpp är alternativ 5, med endast tappvarmvatten i kärnan via förrådsberedare. Detta beror dels på att el har en lägre koldioxidpåverkan än fjärrvärme, men också för att hela byggnaden inte förses med varmvatten. Dock anses detta alternativ inte vara fullt lika rimligt som de andra då vi anser att funktion för brukare blir betydligt sämre. Sett till de krav som finns är det fullt genomförbart, beroende på hur AFS tolkas (Arbetsmiljöverkets författningssamling, 2009). Där anges att tappställe för varmvatten ska finnas där det behövs för verksamheten. För att klargöra om en sådan ändring är tillåten behövs en utredning eller dylikt utföras för att kunna fastställa om varje tappställe ska ha varmvatten eller inte.

Under arbetet har barnens varmvattenanvändning diskuterats utifrån om barn väntar på att få varmvatten när de tvättar sig, eller snabbt tvättar händerna innan varmvatten nått tappstället, och om detta då skulle vara ett skäl till att ta bort varmvatten från vissa tappvattenställen. Denna möjlighet ligger till grund för alternativen 4 och 5 där varmvatten endast tillgodoses i kärnan. Dock har dessa alternativ ansetts vara bristfälliga med utgång från vad som nämns i föregående stycke från AFS (Arbetsmiljöverkets författningssamling, 2009) och komfort för barn och personal på förskolan. Uppgifterna om att barn inte skulle vänta på varmvatten bygger på antaganden samt vad föräldrar och förskolelärare upplevt, och det skulle krävas vidare mätningar för att se om detta verkligen stämmer.

## 7 Slutsats

Det går att minska klimatpåverkan för tappvattensystemet för *Hoppet* jämfört med systemet i *Grönskan*, samtidigt som funktion för brukare bibehålls. Med *alternativ 3: VVB(F) i hela systemet* märks ingen skillnad för förskoleavdelningar medan storkök och personalutrymmen i viss mån har begränsad tillgång till tappvarmvatten. Alternativ med genomströmningsberedare använder mindre energi genom att endast höja vattnets temperatur till vad man önskar få ut. *Alternativ 2 VVC i hela systemet* ger god försörjning av varmvatten men i dagsläget ger fjärrvärme betydligt större utsläpp än el från vattenkraft, vilket gör detta alternativ mindre attraktivt. Alternativ med enbart varmvatten i kärnan är en kontroversiell lösning som minskar komforten drastiskt för förskoleavdelningar. Det är i dagsläget inte en lämplig lösning, utan en slags vision som kanske kan mötas halvvägs för att nå ett mer hållbart system.

Som förslag på systemlösning för *Hoppet* har *alternativ 3: VVB(F) i hela systemet* och *alternativ 7: Genomströmningsberedare vid tappställen, VVB(F) i kärnan* presenterats som mest lämpade alternativ. Alternativ 3 ger en systemlösning med endast förrådsberedare vilket är en mer vedertagen och bekant lösning. För förskoleavdelningarna är det samma projektering som för *Grönskan* vilken innebär att dess funktion kommer utvärderas i verkligheten år 2019. Med alternativ 7 sker tappvarmvattenförsörjning med genomströmningsberedare. Detta är en mer otestad systemlösning för en förskola. Genomströmningsberedare används oftare i mindre skala, exempelvis till småhus, stugor och kontor. Ett förslag är att testa lösningen i mindre skala innan det implementeras storskaligt.

Vidare analys av storlek på VVB(F) i kärnan bör göras för att säkerställa erforderlig varmvattenförsörjning. LCC-analys behöver även göras för att ställa kostnad mot utsläpp. Mätningar vid tappställen kan behöva göras för att urskilja exakt hur mycket varmvatten som förbrukas och om vissa tappställen kan undvaras. En mer genomgående inventering av systemens komponenter bör också göras för att se klimatbelastningen från bland annat fjärrvärmeväxlare, pumpar och ventiler.

Resultaten är starkt beroende av hur energikällor och deras utsläpp förändras i framtiden. Fjärrvärme innebär i dagsläget ungefär 6 gånger mer utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv än el från vattenkraft. Om dess utsläpp minskar i framtiden blir skillnaden mellan alternativ med och utan fjärrvärme lägre, och andra systemlösningar kan övervägas. Med minskade utsläpp från drift blir även utsläppen från material viktigare att fokusera på.

Som tidigare nämnts läggs fokus i detta arbete på utsläpp i form av CO<sub>2</sub>-ekv, som kan vara baserade på fossila och ickefossila bränslen och material. En vidare analys bör göras i framtiden då systemet förhoppningsvis utgörs av fossilfria material, vilket kan komma att ändra mängden CO<sub>2</sub>-ekv för alternativen och medföra bättre kandidater än de som föreslås. Om fossilfria material ger lägre utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv än de material som räknats efter i detta arbete återstår att se. En avvägning bör göras mellan fossil innehåll i systemet och den totala CO<sub>2</sub>-ekv belastningen för *Hoppet* som ska stå färdig 2021. I framtiden, när fossilfria komponenter finns tillgängliga, kan nya studier göras med större fokus på fossilfrihet, och mindre fokus på CO<sub>2</sub>-ekv. I framtiden ska fossilfria material kunna implementeras i ett system med låg klimatbelastning från drift.

## Referenser

- Alros, M. (2015). *Energikartläggning av VVC-systemet i flerbostadshus*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Annika, M., Anders, H., Göran, L., Jenny, U., André, M., & Elin, J. (2011). *Rörmaterial i svenska VA-ledningar - egenskaper och livslängd*. Göteborg: Svenskt vatten AB.
- Arbetsmiljöverkets författningssamling. (den 23 04 2009). *Arbetsplatsens utformning - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbetsplatsens utformning*. Arbetsmiljöverkets författningssamling. Hämtat från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-foreskrifter-afs2009-2.pdf>
- Boverket. (2007). *Energianvändning i byggnader. Delmål 6 - Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av God bebyggd miljö*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2011). *Boverkets byggregler*. Karlskrona: Boverket.
- Clage. (04 2018). Hämtat från <https://www.clage.com/en/product-range/mini-instantaneous-water-heaters/M3END.php>
- E.ON Energilösningar. (den 26 04 2018). Hämtat från <https://www.eon.se/artiklar/vad-aer-foer-nybar-energi.html>
- el.se. (den 22 05 2018). Hämtat från <https://el.se/artiklar/energi%C3%A4llor>
- Environmental Protection Agency. (9 2017). <https://www.epa.gov/>. Hämtat från <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>
- EPD international AB. (den 22 05 2018). Hämtat från <https://www.environdec.com/sv/What-is-an-EPD/>
- Folkhälsomyndigheten. (den 04 07 2016). *Folkhälsomyndigheten*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/legionellainfektion-och-pontiacfeber/>
- Göteborg Energi. (2017). *Miljövården för levererad fjärrvärme 2017*. Hämtat från <https://www.goteborgenergi.se/Files/Webb20/Kategoriserad%20information/Informationsmaterial/Milj%C3%B6v%C3%A4rden%20f%C3%B6r%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme/Milj%C3%B6v%C3%A4rden%20f%C3%B6r%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme%202017.pdf?TS=636598899414362819>
- Göteborg Energi. (2017). *Resan mot 2030: Göteborg Energi*. Hämtat från [https://www.goteborgenergi.se/Ars\\_och\\_hallbarhetsredovisning/Resan\\_mot\\_2030](https://www.goteborgenergi.se/Ars_och_hallbarhetsredovisning/Resan_mot_2030)
- Göteborgs stad lokalförvaltningen. (2018). *Tekniska krav och anvisningar*. Göteborg: Göteborgs stad lokalförvaltningen.
- International heating products. (den 10 05 2018). Hämtat från <http://www.ihp.se/produkter/genomströmningssvarmare/>
- IVL - Svenska miljöinstitutet. (2013). IVL Miljödata bas version 2013. IVL - Svenska miljöinstitutet.
- Jensen, D. A., Macinga, D. R., Shumaker, D. J., Roberto, B., Arbogast, J. W., & Schaffner, D. W. (2017). *Quantifying the Effects of Water Temperature, Soap Volume, Lather Time, and Antimicrobial Soap as Variables in the Removal of Escherichia coli ATCC 11229 from Hands*. Journal of Food Protection.
- Jernkontoret. (den 22 05 2018). Hämtat från <http://www.energihandbok.se/primarenergi/>
- LK systems. (den 22 08 2016). Hämtat från <http://www.lksystems.se/globalassets/inriver/resources/bvd-lk-pal->

- universalror-a-med-tomror-rir-lk-pal-universalror-a-raka-langder-lk-tomror-lk-pal-universalror-a.pdf
- LK systems. (den 15 05 2018). Hämtat från [http://www.lksystems.se/globalassets/inriver/resources/se.29.b.1\\_projekteringsanvisning.pdf](http://www.lksystems.se/globalassets/inriver/resources/se.29.b.1_projekteringsanvisning.pdf)
- Miljö- och klimatnämnden. (2018). *Fossilfritt Göteborg - vad krävs?* Göteborg: Göteborgs Stad Miljöförvaltningen.
- National Renewable Energy Laboratory. (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions*. Denver: National Renewable Energy Laboratory.
- Nationalencyklopedin. (den 23 05 2018). Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/koldioxidekvivalent>
- Nationalencyklopedin. (den 23 05 2018). Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/r%C3%A5olja>
- Nationalencyklopedin. (den 22 05 2018). Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/f%C3%B6rnybara-energi%C3%A4llor>
- Naturskyddsföreningen. (den 07 05 2018). Hämtat från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faqsol>
- Nibe. (den 13 02 2015). *Bygg-/miljövarudeklaration*. Nibe.
- Persson, M. U., Johansson, D. J., Cederberg, C., Hedenus, F., & Bryngelsson, D. (2015). *Climate metrics and the carbon footprint of livestock products*. IOP Publishing Ltd.
- Pettersson, B.-Å. (2010). *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Philqvist, F. (den 02 03 2018). VVC-skiss. Göteborg, Västra Götalands län, Sverige.
- Statistiska centralbyrån. (den 07 05 2018). *SCB*. Hämtat från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/energi/#0f540e57-bca3-4404-b59b-4bf65fea8ded>
- Sweden Natural Assets AB. (den 25 05 2018). Hämtat från <http://www.swedennaturalassets.se/sv/raolja-och-dess-anvandningsomrade/>
- Svensk Fjärrvärme AB. (2014). *Fjärrvärmecentralen*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme AB.
- SWEPUMP. (den 12 06 2017). Hämtat från [swepump.org](http://www.swepump.org)
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Vattenfall. (den 15 02 2015). *Vattenfall*. Hämtat från <https://www.vattenfall.se/globalassets/foretag/miljo/miljo-varudeklaration-epd-vattenkraft.pdf>
- Vattenfall. (den 01 02 2016). *Vattenfall*. Hämtat från <https://www.vattenfall.se/globalassets/foretag/miljo/miljo-varudeklaration-epd-vindkraft2.pdf>
- VCON. (2017). *ENERGIANALYS*. Göteborg: Göteborgs stad lokalförvaltningen.
- VCON. (2017). *Konceptförskolan Grönskan TEKNISK BESKRIVNING*. Göteborg: Göteborgs stad lokalförvaltningen.



## Bilaga 2 Byggvarudeklaration för LK PAL Universalrör

**Tabell 1, Innehåll av ingående ämnen och material (fullständigt innehåll i enlighet med redovisningskrav)**

<b>Ingående ämnen och material</b>	<b>EG-nr/ CAS-nr (alt legering)</b>	<b>Vikt-% (av hela varan)</b>	<b>När tillämpligt, ange i vilken delkomponent</b>	<b>Vikt-% (av ämne i del- komponent)</b>	<b>Kommentar (ange eventuell tillämpning av ej harmoniserad klassificering)</b>
<b>Polypropen (EPS30R)</b>	<b>9003-07-0</b>	<b>20 %</b>			
<b>Antioxidant 1010</b>	<b>6683-19-8</b>	<b>0,2 %</b>			
<b>Pigment (Grå)</b>		<b>0,3 %</b>			
<b>Aluminium (8011)</b>	<b>7429-90-5</b>	<b>14 %</b>			
<b>PE-RT (Dowlex 2344)</b>	<b>26221-73-8</b>	<b>60,5 %</b>			
<b>Vidhäftningsmedel (Vidhäftningsmedlet är en blandning av sampolymer av eten, där monomeren är eten)</b>	<b>LE700T</b>	<b>5 %</b>			

Byggvarudeklaration för LK PAL universalrör. (LK systems, 2016)



## Bilaga 3 Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E

Varan består vid leverans av följande delar/komponenter och med angivna kemiska sammansättning:					
Material	Ingående ämnen	Vikt %	CAS-nr/legering	Klassificering	Note.
Stål	--	77,6 %	S235JR S275JR EN 1.0025-2		
Isolering	EPS	5,3 %			
Mässing	CuZn35Pb1,5AlAs	2,1 %	CW625N, AVZH.MSG		4MS-godk
Polymerer	PA ABS Nylon	7,8 %			
Glas	Emalj	2,6 %			
Elektronik	Sammansatta komponenter, Termostat, temp. begränsare, kablage	4,1 %			
Gummi	EPDM	0,5 %			
Övriga upplysningar: Yttre ståldetaljer är lackerade med pulverlack, epoxi/polyester					

### 5 Distribution av färdig vara

Tillämpar leverantören retursystem för lastbärare av varan?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej
Tillämpar leverantören system med flergångsemballage för varan?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej
Återtar leverantören emballage för varan?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej
Är leverantören ansluten till REPA?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nej

### 6 Byggskedet

Ställer varan särskilda krav vid lagring?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej
Ställer varan särskilda krav på omgivande varor?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej

### 7 Bruksskedet

Ställer varan krav på insatsvaror för drift och underhåll?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nej			
Ställer varan krav på energitillförsel för drift?	<input type="checkbox"/> Ej relevant	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nej	Elenergi		
Uppskattad teknisk livslängd för varan anges enligt ett av alternativen a) eller b) nedan						
a) Referenslivslängden uppskattas vara ca	5 år	10 år	<b>15 år*</b>	25 år	> 50 år	*Beroende på vattenkvalitet
b) Referenslivslängden uppskattas vara i intervallet	år					

*Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E. (Nibe, 2015)*

## Bilaga 4 Dimensioner och godstjocklek för LK PAL

### RÖRSORTIMENT

LK PE-X och LK PAL Universalrör finns i följande dimensioner.

Beteckning	Dim. (dy x godstjocklek)
X16	16 x 2,0
X20	20 x 2,8
X25	25 x 3,5
A16	16 x 2,0
A20	20 x 2,5
A25	25 x 3,5
A32	32 x 3,0
A40	40 x 3,5
A50	50 x 4,0
A63	63 x 4,5
A75	75 x 7,5

*Dimensioner och godstjocklek för LK PAL (LK systems, 2018)*

## Bilaga 5 Schematisk ritning för Grönskan



*Schematisk ritning över hela modellförskolan Grönskan, våning 1, för VVC i hela byggnaden. (Philqvist, 2018)*

## Bilaga 6 Uträkning av varmvattenbehov för storkök

Från given energianalys kunde det dagliga energibehovet för varmvatten för storköket utläsas till 25 kWh/dag i referenssystemet (VCON, 2017). I tidigare uträkningar beräknades den årliga energin för värmeväxlaren under drift och morgonuppvärmning.

### Daglig energiförbrukning för drift, VVC.

$$E_{VVC} = VVX_{VVC}/t = 1399/230 = 6,1 \text{ [kWh/dag]}$$

$VVX_{VVC}$	Årlig energi för VVX	[kWh/år]
$t$	Dagar i bruk	[dagar]

### Daglig energiförbrukning för VVC vid morgonuppvärmning.

$$E_{uppvärmning} = VVX_{morgonuppvärmning}/t = 376/230 = 1,6 \text{ [kWh/dag]}$$

$VVX_{morgonuppvärmning}$	Årlig energi för VVX för morgonuppvärmning	[kWh/år]
$t$	Dagar i bruk	[dagar]

### Energi för kallvattenuppvärmning

$$\begin{aligned} E_{Kallvattenuppvärmning} &= E_{VV} - (E_{VVC} + E_{uppvärmning}) = 25 - (6,1 + 1,6) \\ &= 17,3 \text{ [kWh/dag]} \end{aligned}$$

$E_{VV}$	Daglig energi för VV	[kWh/dag]
----------	----------------------	-----------

### Omvandling till Joule/dag

$$\begin{aligned} E_{Joule} &= E_{Kallvattenuppvärmning} * t * 1000 = 17,3 * 3600 * 1000 \\ &= 62217113 \text{ [J/dag]} \end{aligned}$$

$t$	Sekunder för en timma	[s]
-----	-----------------------	-----

### Volym varmvatten för kök

$$V = \frac{Q_{Joule}}{\rho_{vatten} * c_{p,vatten} * \Delta T} = \frac{62217113}{1,2 * 1000 * (55 - 6)} = 0,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

$\Delta T$	Temperaturdifferans	[K]
$c_{p,vatten}$	Värmekapacitet för vatten	[J/(kg*K)]
$\rho_{vatten}$	Densitet för vatten	[kg/m <sup>3</sup> ]

# Bilaga 7 Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END

Produktinformation

## Genomströmningsvärmare för tvättställ M3/END



Liten genomströmningsvärmare för installation vid tvättställ. Värmaren är avsedd för öppet system och levereras med engreppsblandare. Ström förbrukas endast när varmvatten tappas vilket medför att man enbart betalar för det varmvatten som förbrukas. Engreppsblandaren är försedd med flexibla anslutnings-slangar för enkel och snabb installation.



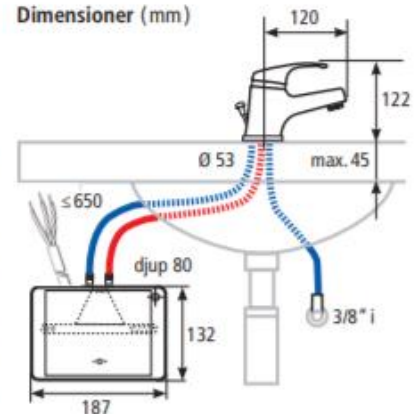
### Produktbeskrivning




- Genomströmningsvärmare för öppet system
- Engreppsblandare för tvättställ
- Effektivt och servicevänligt värmesystem
- Förbrukar endast energi när varmvatten tappas
- Avsedd för fast installation
- Enkel installation tack vare små ytermått
- Flexibla anslutnings-slangar på blandaren
- Kallvattenanslutning 3/8" i

### Användningsområden

- Sommarstugan, gäststugan, garaget, stallet eller verkstan

### Dimensioner (mm)



Typ	M3/END
Artikelnummer	172432
System	Trycklös, 0 bar
Värmesystem	Motståndstråd, blank
Användningsområde	Färskvatten, >800 Ωcm vid 15 °C
Effekt	3,5 kW, 230 V, 1-fas
Märkström	15 A
Flöde (liter/minut) vid 28 °C temp. höjning	1,8 L/min
Tillslagstryck	Ca 1,5 bar
Vikt med vatten	1,2 kg
Skyddsform	IP24    CE

För andra användningsområden se produktinfo:

M3/SNM – undermontage

M3/SMB – ovanmontage

Produktblad för genomströmningsberedare Clage M3/END (Clage, 2018)

## Bilaga 8 Beräkningsgång för värmeförlust från rör

Beräkningsgång för värmeförlust från rör, olika dimensioner (övergångsmotståndet inne i röret antas vara 0).

$$\frac{dQ}{dL} = \dot{Q}_{\text{värmeförlust,dim}} = \frac{t_{fA} - t_{fB}}{\frac{1}{2\pi * r_1 * \alpha_i} + \frac{1}{2\pi\lambda_1} * \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_2} * \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi * r_3 * \alpha_u}}$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dL} &= \dot{Q}_{\text{värmeförlust,16mm}} \\ &= \frac{55 - 23}{0 + \frac{1}{2\pi * 0,16} * \ln \frac{0,01}{0,008} + \frac{1}{2\pi * 0,037} * \ln \frac{0,029}{0,01} + \frac{1}{2\pi * 0,029 * 1/0,13}} \\ &= 5,8 \text{ W/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dL} &= \dot{Q}_{\text{värmeförlust,20mm}} = 3,97 \text{ W/m} \\ \frac{dQ}{dL} &= \dot{Q}_{\text{värmeförlust,25mm}} = 4,43 \text{ W/m} \\ \frac{dQ}{dL} &= \dot{Q}_{\text{värmeförlust,32mm}} = 4,88 \text{ W/m} \\ \frac{dQ}{dL} &= \dot{Q}_{\text{värmeförlust,40mm}} = 5,46 \text{ W/m} \end{aligned}$$

$t_{fA}$	Temperaturen i fluid A i betraktat rörsnitt, dL	[°C]
$t_{fB}$	Temperaturen i fluid B i betraktat rörsnitt, dL	[°C]
$r_1$	Innerradie för rör	[m]
$r_2$	Ytterradie för rör	[m]
$r_3$	Radie för isolering	[m]
$\alpha_i$	Värmeövergångskoefficient pga konvektion inne i röret	[W/(m <sup>2</sup> *°C)]
$\alpha_u$	Värmeövergångskoefficient pga konvektion på utsidan av röret	[W/(m <sup>2</sup> *°C)]
$\lambda$	Värmeledningsförmåga för respektive rörsnitt	[W/(m*°C)]

## Bilaga 9 Beräkningsgång VV Rör (Samma princip för rörisolering)

$$A_{godstjocklek,dim} = (\pi r_{ytter}^2 - \pi r_{inner}^2) [m^2]$$

$$A_{godstjocklek,16} = \pi 0,01^2 - \pi 0,08^2 = 1,13E^{-4} m^2$$

$$A_{godstjocklek,20} = 1,77E^{-4} m^2$$

$$A_{godstjocklek,25} = 3,13E^{-4} m^2$$

$$A_{godstjocklek,32} = 3,30E^{-4} m^2$$

$A_{godstjocklek,dim}$  nettoarea material för de olika dimensionerna [m<sup>2</sup>]  
 (För mått på godstjocklek se *Bilaga 4 Dimensioner och godstjocklek för LK PAL.*)  
 $r_{ytter}, r_{inner}$  ytter- respektive innerradie av röret [m]

$$m_{rör,dim} = A_{godstjocklek,dim} * L_{dim} * \rho_{rör} [kg]$$

$$m_{rör,16} = 1,77E^{-4} * 425 * 900 = 43,2 kg$$

$$m_{rör,20} = 3,2 kg$$

$$m_{rör,25} = 11,6 kg$$

$$m_{rör,32} = 5,2 kg$$

$m_{rör,dim}$  vikt rör av en viss dimension [kg]  
 $L_{dim}$  längd rör av en viss dimension [m]  
 $\rho_{rör}$  densitet rör [kg/m<sup>3</sup>]

$$GWP_{rör,tot} = \sum m_{rör,dim} * CO_2ekv_{rör} [kg CO_2 - ekv]$$

$$GWP_{rör,tot} = 63,2 * 3,66 = 231,3 kg CO_2 - ekv$$

$CO_2ekv_{rör}$  kg koldioxidekvivalenter per kg rör [ $\frac{kg CO_2ekv}{kg material}$ ]  
 $GWP_{rör,tot}$  global warming potential av rörsystemet [kg CO<sub>2</sub>-ekv]

## Bilaga 10 Beräkningsgång VVB(F) (Samma princip med genomströmningsb.)

Utgår från *Bilaga 3 Bygg-/miljövarudeklaration för Nibe Eminent 55E* samt data från IVL (IVL - Svenska miljöinstitutet, 2013).

$$GWP_{VVB} = \sum m_{material} * CO_2ekv_{material}$$

$$GWP_{VVB} = 1,9 * 1,8 + 2,8 * 2,1 + 27,9 * 2,1 + 3,3 * 1 = 71,1 \text{ kg } CO_2 - ekv$$

$GWP_{VVB}$	<i>global warming potential</i> av VVB(F)	[kg CO <sub>2</sub> -ekv]
$\sum m_{material}$	vikt material för VVB(F)	[kg]
$CO_2ekv_{material}$	kg koldioxidekvivalenter per kg	$\left[ \frac{kg \text{ } CO_2ekv}{kg \text{ material}} \right]$



## Bilaga 11 Beräkningsgång drift

$$V_{VVC} = \frac{d_1^2 * \pi * L}{4}$$

$$V_{VVC} = \frac{0,0016^2 * \pi * 44}{4} = 0,00009 \text{ m}^3$$

$V_{VVC}$	Volym för VVC-slinga	[m <sup>3</sup> ]
$d_1$	diameter för VVC-slinga	[m]
$L$	rörlängd för VVC-slinga	[m]

$$V_{Parallellt\ VV-rör} = \frac{d_2^2 * \pi * L}{4}$$

$$V_{Parallellt\ VV-rör} = \frac{0,03^2 * \pi * 44}{4} = 0,031 \text{ m}^3$$

$d_2$	diameter för Parallellt VV-rör (medeldiameter 30mm)	[m]
-------	---	-----

$$Q_{Morgonuppvärmning} = (V_{VVC} + V_{Parallellt\ VV-rör}) * \rho_{vatten} * c_{p,vatten} * \Delta T$$

$$Q_{Morgonuppvärmning} = (0,00009 + 0,031) * 1000 * 4190 * (65 - 20) = 5881 \text{ kJ}$$

$Q_{Morgonuppvärmning}$	Energi vid morgonuppvärmning	[kWh/år]
$\Delta T$	Temperaturdifferens	[K]
$c_{p,vatten}$	Värmekapacitet för vatten	[J/(kg*K)]
$\rho_{vatten}$	Densitet för vatten	[kg/m <sup>3</sup> ]

$$P_{Morgonuppvärmning} = \frac{Q_{Morgonuppvärmning}}{t_1}$$

$$P_{Morgonuppvärmning} = \frac{5881}{1800} = 3,3 \text{ kW}$$

$P_{Morgonuppvärmning}$	Effekt för morgonuppvärmning	[W]
$t_1$	tid, halvtimme sekunder	[s]

$$Q_{Morgonuppvärmning,230\ dagar} = P_{Morgonuppvärmning} * t_2 * 230$$

$$Q_{Morgonuppvärmning,230\ dagar} = 3,3 * 0,5 * 230$$

$Q_{Morgonuppvärmning,230\ dagar}$	Energi för morgonuppvärmning under ett år	[kWh/år]
$t_2$	Tid morgonuppvärmningen sker	[h]

$$Q_{KV-uppvärmning} = V_{varmvatten\ förbrukning,kärnan} * \rho_{vatten} * c_{p,vatten} * \Delta T$$

$$Q_{KV-uppvärmning} = (0,303 + 0,005 * 20) * 1000 * 4190 * (60 - 10)$$

$$= 84\ 436\ 850 \text{ J}$$

$Q_{KV-uppvärmning}$	kallvattenuppvärmning	[J]
----------------------	-----------------------	-----

$V_{\text{varmvatten förbrukning, kärnan}}$  vattenvolym för kärnan (storkök + 20 st personal) [m<sup>3</sup>]

$$Q_{KV\text{-uppvärmning, 230 dagar}} = \frac{Q_{KV\text{-uppvärmning}} * 230}{3600 * 1000}$$

$$Q_{KV\text{-uppvärmning, 230 dagar}} = \frac{84\,436\,850 * 230}{3600 * 1000} = 5395 \text{ kWh/år}$$

$Q_{KV\text{-uppvärmning, 230 dagar}}$  kallvattenuppvärmning [kWh/år]

$$P_{VVC\text{-uppvärmning}} = \dot{V}_{VVC} * \rho_{\text{vatten}} * c_{p,\text{vatten}} * \Delta T$$

$$P_{VVC} = 0,000021 * 1000 * 4190 * (60 - 50) = 0,51 \text{ kW}$$

$P_{VVC\text{-uppvärmning}}$  effekt för VVC [kW]  
 $\dot{V}_{VVC}$  flöde för VVC (från ritning) [m<sup>3</sup>/s]

$$Q_{VVC} = P_{VVC} * t_{\text{drifttimmar per år}}$$

$$Q_{VVC} = 0,51 * 2760 = 1399 \text{ kWh/år}$$

$Q_{VVC}$  energi för VVC under ett år [kWh/år]  
 $t_{\text{drifttimmar per år}}$  drifttimmar per år [h]

$$Q_{\text{pump}} = \frac{P_{\text{pump}}}{1000 * 2760}$$

$$Q_{\text{pump}} = \frac{10}{1000 * 2760} = 27,5 \text{ kWh/år}$$

$Q_{\text{pump}}$  energi för pump under ett år [kWh/år]  
 $P_{\text{pump}}$  pumpeffekt [W]

$$Q_{VVB} = V_{VVB} * \rho_{\text{vatten}} * c_{p,\text{vatten}} * \Delta T$$

$$Q_{VVB} = (108 * 0,005) * 1000 * 4190 * (60 - 10) = 113\,130\,000 \text{ J}$$

$Q_{VVB}$  energi för VVB(F) [J]  
 $V_{VVB}$  varmvattenförbrukning i avdelningarna (108 pers) [m<sup>3</sup>]

$$Q_{VVB, 230 dagar} = \frac{Q_{VVB} * 230}{3600 * 1000}$$

$$Q_{VVB, 230 dagar} = \frac{113\,130\,000 * 230}{3600 * 1000} = 7228 \text{ kWh/år}$$

$Q_{VVB, 230 dagar}$  energi för VVB(F) under ett år [kWh/år]

$$GWP_{F\text{järrvärme}} = \sum Q_{F\text{järrvärme}} * CO_2\text{ekv}_{F\text{järrvärme}}$$

$$GWP_{F\text{järrvärme}} = \frac{7170 * 64}{1000} = 459 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv}$$

$GWP_{Fj\ddot{a}rrv\ddot{a}rme}$	<i>global warming potential</i> för fjärrvärme	[kg CO <sub>2</sub> -ekv]
$\sum Q_{Fj\ddot{a}rrv\ddot{a}rme}$	total fjärrvärmeenergi för ett år	[kWh/år]
$CO_2ekv_{Fj\ddot{a}rrv\ddot{a}rme}$	kg koldioxidekvivalenter per kWh	$[\frac{kg\ CO_2ekv}{kWh}]$

$$GWP_{El} = \sum Q_{El} * CO_2ekv_{El}$$

$$GWP_{El} = \frac{7255 * 10}{1000} = 73\ kg\ CO_2 - ekv$$

$GWP_{El}$	<i>global warming potential</i> för el	[kg CO <sub>2</sub> -ekv]
$\sum Q_{El}$	total elenergi för ett år	[kWh/år]
$CO_2ekv_{El}$	kg koldioxidekvivalenter per kWh	$[\frac{kg\ CO_2ekv}{kWh}]$

## Bilaga 12 Beräkningsgång för värmeavgång av VVC under avstängd tid

$$Q_{55^{\circ}\text{C},dim} = V_{dim} * \rho_{vatten} * c_{p,vatten} * \Delta T$$

$$Q_{55^{\circ}\text{C},16mm} = 0,002 * 1000 * 4190 * 55 = 46\,335\text{ J}$$

$$Q_{55^{\circ}\text{C},20mm} = 72\,398\text{ J}$$

$$Q_{55^{\circ}\text{C},25mm} = 113\,122\text{ J}$$

$$Q_{55^{\circ}\text{C},32mm} = 185\,339\text{ J}$$

$Q_{55^{\circ}\text{C},dim}$  energi för vatten vid 55 °C [°C]  
 $V_{dim}$  volym för rördimension [m]

$$Q_{23^{\circ}\text{C},dim} = V_{dim} * \rho_{vatten} * c_{p,vatten} * \Delta T$$

$$Q_{23^{\circ}\text{C},16mm} = 0,002 * 1000 * 4190 * 23 = 19\,376\text{ J}$$

$$Q_{23^{\circ}\text{C},20mm} = 30\,276\text{ J}$$

$$Q_{23^{\circ}\text{C},25mm} = 47\,306\text{ J}$$

$$Q_{23^{\circ}\text{C},32mm} = 77\,505\text{ J}$$

$Q_{23^{\circ}\text{C},dim}$  energi för vatten vid 23 °C [°C]

$$\Delta Q_{dim} = Q_{55^{\circ}\text{C},dim} - Q_{23^{\circ}\text{C},dim}$$

$$\Delta Q_{16mm} = Q_{55^{\circ}\text{C},16mm} - Q_{23^{\circ}\text{C},16mm} = 26958\text{ J}$$

$$\Delta Q_{20mm} = 42122\text{ J}$$

$$\Delta Q_{25mm} = 65816\text{ J}$$

$$\Delta Q_{32mm} = 107\,834\text{ J}$$

$\Delta Q_{dim}$  energidifferans mellan 55 °C och 23 °C [°C]

$$t_{avkylningstid,s,dim} = \frac{\Delta Q_{dim}}{\dot{Q}_{värmeförlust,dim}}$$

$$t_{avkylningstid,s,16mm} = \frac{26958}{2,25} = 4646\text{ s}$$

$$t_{avkylningstid,s,20mm} = 10621\text{ s}$$

$$t_{avkylningstid,s,25mm} = 14850\text{ s}$$

$$t_{avkylningstid,s,32mm} = 22114\text{ s}$$

$t_{avkylningstid,s,dim}$  avkylningstid i sekunder [s]  
 $\dot{Q}_{värmeförlust,dim}$  schablonvärde för värmeförlust per meter vid dim [W/m]

$$t_{avkylningstid,h,dim} = \frac{t_{avkylningstid,s,dim}}{3600}$$

$$t_{avkylningstid,h,16mm} = \frac{11980}{3600} = 1,29\text{ h}$$

$$t_{avkylningstid,h,20mm} = 2,95\text{ h}$$

$$t_{avkylningstid,h,25mm} = 4,13\text{ h}$$

$$t_{avkylningstid,h,32mm} = 6,14\text{ h}$$

$t_{avkylningstid,h,dim}$  avkylningstid i timmar [h]

$$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,dim} = \frac{\Delta Q_{dim} * t_{avkylningstid,h,dim}}{1000 * t_{avkylningstid,s,dim}}$$
$$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,16mm} = \frac{26958 * 1,29}{1000 * 4646} = 0,0075 \frac{kWh}{m}, dag$$
$$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,20mm} = 0,012 \frac{kWh}{m}, dag$$
$$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,25mm} = 0,018 \frac{kWh}{m}, dag$$
$$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,32mm} = 0,03 \frac{kWh}{m}, dag$$

$\dot{Q}_{Avgiven\ energi,dim}$  avgiven energi per dag vid rördimension [kWh/m,dag]

$$\dot{Q}_{Värmeavgång,dim} = \dot{Q}_{Avgiven\ energi,dim} * L_{dim}$$
$$\dot{Q}_{Värmeavgång,16mm} = 0,0075 * 425 = 3,19 kWh/dag$$
$$\dot{Q}_{Värmeavgång,20mm} = 0,23 kWh/dag$$
$$\dot{Q}_{Värmeavgång,25mm} = 0,75 kWh/dag$$
$$\dot{Q}_{Värmeavgång,32mm} = 0,52 kWh/dag$$

$\dot{Q}_{Värmeavgång,dim}$  värmeavgång per dag vi rördimension [kWh/dag]  
 $L_{dim}$  rörlängd för rördimension [m]