



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Analyse av beregningsverktøy i 3D-modell med fokus på VVS-prosjektering

Robert Borch Bjørnå

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi...BYG-3900...mai 2024





MASTEROPPGAVE

for

Robert Borch Bjørnå

(Studentnummer 180087)

Vår 2024

Analyse av beregningsverktøy i 3D-modell med fokus på VVS-prosjektering

(Analysis of calculation tools in a 3D-model with a focus on HVAC-engineering)

Bakgrunn

VVS er et sentralt fagfelt i byggebransjen. I flere årtusener har forskjellige former for VVS-teknikk blitt benyttet både for å heve livskvaliteten til beboere, samt for å forbedre funksjonaliteten til et bygg. VVS-teknikk spiller i dag en stor rolle for å sikre bærekraftige bygninger. TEK17 stiller en rekke krav til både energibehov, innemiljø og til VVS-installasjoner generelt, og det er derfor viktig at det gjøres grundige beregninger og dimensjonerings. BIM har blitt en sentral del av bygningsprosjektering, og benyttes naturlig nok også til VVS-prosjektering. Da dette er en stor del av et prosjekt, er det naturlig å lete etter måter å effektivisere prosjekteringen. Dette kan gjøres ved å bruke et modelleringsprogram til å gjøre VVS-beregninger.

Opgaven går ut på å vurdere styrker og svakheter for VVS-beregninger i modelleringsprogram sammenlignet med tradisjonelle beregningsmetoder, noe som kan bidra til å forbedre praksisen innen VVS-prosjektering. Vurderingen vil gjøres på grunnlag av modeller utdelt av den eksterne bedriften.

Begrensning av oppgaven

Opgaven er begrenset ved å kun se på beregningsmetoder i Revit med tilhørende modul Magicad, og ikke alternative programmer.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Litteratursøk om beregningsmetoder for tradisjonell VVS-prosjektering.

3. Litteratursøk om beregningsmetoder benyttet for VVS-prosjektering i modelleringsprogram.
4. Undersøke funksjonalitet ved bruk av modelleringsprogram til VVS-beregninger.
5. Kartlegge nødvendige parametere for å gjennomføre en VVS-beregning i modelleringsprogram med tilfredsstillende resultat.
6. Undersøke hvordan utarbeidelse av systemskjema for VVS kan linkes mot 3D-modell.
7. Vurdere nøyaktigheten og påliteligheten av de to metodene, samt se på fordeler og ulemper ved å gjøre VVS-beregninger i modelleringsprogram sammenlignet med tradisjonelle beregningsmetoder.

Samarbeidspartner

Opgaven gjennomføres i samarbeid med Sweco.

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	08.01.2024
Innleveringsdato:	15.05.2024
Kontaktperson bedrift:	Navn: Thomas Hareide Telefon: +47 997 48 749 E-post: thomas.hareide@sweco.no
Veileder UiT - IVT:	Navn: Ligu Chen Telefon: 941 07 104 E-post: liguo.chen@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

Ligu Chen

Navn på veileder UiT
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Masteroppgaven inngår i sivilingeniørstudiet for Integrrert bygningsteknologi ved UiT – Norges arktiske universitet. Oppgaven er utført i samarbeid med Sweco Narvik og omhandler bruk av BIM-verktøy til å utføre VVS-beregninger. Sweco har også bidratt med en VVS-modell i Revit, som brukes som et grunnlag for å undersøke funksjonaliteten til programvaren. Dermed er det mulig å vurdere fordeler og ulemper ved bruk av beregningsfunksjonen, samt kartlegge de best egnede bruksområdene.

Arbeidet har vært en engasjerende og utfordrende læringsprosess, som har gitt anledningen til å gå inn i detaljene rundt dimensjonering av VVS-anlegg, og hvilke muligheter som finnes for å effektivisere disse prosessene.

Jeg ønsker å rette en stor takk til mine veiledere, Thomas Hareide fra Sweco Narvik, og Ligu Chen fra UiT for god veiledning underveis i hele prosessen. Jeg vil også takke Alexander Berntsen fra Sweco Narvik for å svare på spørsmål knyttet til både modellen og programvaren. Jeg retter også en takk til Sweco Narvik for å ha tilbudt meg kontorplass, all programvare og utstyr nødvendig for å gjennomføre oppgaven, og for å ha tatt meg godt imot. Til slutt vil jeg takke familie og venner for støtte og oppmuntring underveis i oppgaveskrivingen.

Sammendrag

Grunnet økt press om å redusere klimagassutslippene i Norge, stilles det stadig strengere krav til energiforbruket til bygg. Når 80% av energibruken i norske bygg går til romoppvarming og varmtvann, er det tydelig at godt planlagte og utførte VVS-anlegg er sentralt for å nå de overordnede klimamålene. Etersom bruk av BIM er utbredt i den norske byggenæringen, er det av interesse å undersøke mulighetene for å effektivisere arbeidet ved å benytte BIM-verktøy til å gjøre VVS-beregninger. Sweco bruker i dag komplekse regneark til å utføre VVS-beregninger, mens Revit, med VVS-modulen MagiCAD, brukes til å lage 3D-modeller av anleggene. Derfor er det hensiktsmessig å undersøke hvorvidt beregningsfunksjonene i MagiCAD har tilstrekkelig nøyaktighet, pålitelighet og brukervennlighet sammenlignet med de tradisjonelle metodene, og hvorvidt det er fordelaktig å ta i bruk verktøyet til VVS-prosjektering.

Ved å undersøke beregningsfunksjonen, er det mulig å fastslå styrker og svakheter ved bruk av verktøyet, og dermed vurdere om det er fordelaktig å ta det i bruk. For denne undersøkelsen er det tatt utgangspunkt i en 3D-modell av en ambulansestasjon, hvor VVS-anlegget er dimensjonert i forhold til de tradisjonelle metodene. Dermed vil de fleste endringene som foreslås av beregningsfunksjonen, være et resultat av forskjeller mellom de to aktuelle metodene. Det kan også hjelpe å kartlegge hvilke parametere som må ligge til grunn, og eventuelle andre forbehold som må tas for å kunne bruke beregningsfunksjonen effektivt.

Resultatene av undersøkelsene viser at det er forskjeller i antallet avvik i forhold til hvilket fag det gjelder. Varmeanlegget hadde relativt få avvik, da MagiCAD forslø å endre dimensjonen på 26% av alle komponentene, mens ventilasjonsanlegget hadde avvik på 33% av komponentene. Sanitæranlegget hadde noe mer omfattende endringer, da 59% av alle komponentene hadde andre dimensjoner enn det MagiCAD forslø. Undersøkelsene viser også at MagiCAD krever en rekke parametere for å kunne gjøre beregningene, eksempelvis at luftmengder, vannbehov og varmebehov er beregnet, samt at alle installasjonene som bestemmer størrelsen på volumstrømmen må modelleres inn. MagiCAD stiller i tillegg en rekke krav på hvordan modellen må være utformet for at funksjonen skal fungere.

Forskjeller i teorien mellom de to metodene har en liten innvirkning på beregningene. For beregningen av friksjonstap, er det små forskjeller i teorigrunlaget som ikke bør ha en markant påvirkning på resultatet. Det er derimot store forskjeller i hvordan volumstrømmen i sirkulasjonsledningen beregnes, noe som medfører at det blir store forskjeller mellom metodene på sanitæranlegget. De største forskjellene mellom metodene er hvordan støttapskoeffisientene utarbeides, noe som kan ha en innvirkning på trykktapsberegningene for både varme-, ventilasjons- og sanitærsystemene.

De største utfordringene knyttet til bruk av beregningsfunksjonen er at det er mange forhold som må ligge til rette for at det skal være mulig å gjennomføre beregningene. Dette er både krav til hvilke installasjoner som må være modellert inn, hvordan systemene må være koblet sammen, og at alle komponentene er satt til riktig system. Ved å undersøke resultatene av beregningene, samt fordelene og ulempene for bruk av MagiCAD, er det mulig å avgjøre at beregningsfunksjonen er best egnet til å bruke på mindre bygg, samt at varme- og ventilasjonsanleggene gir betydelig bedre resultater enn sanitæranlegget.

Etersom Sweco allerede benytter MagiCAD til VVS-prosjektering, kan det også være gunstig å ta i bruk beregningsfunksjonen, da det kan bidra til å redusere arbeidsmengden under prosjekteringen. Selv om det er flere forhold som kan føre til utfordringer ved bruk av beregningsfunksjonen, vil dette til en viss grad kunne unngås så lenge det tas hensyn til kravene stilt av programmet under modelleringen.

Abstract

Due to increased pressure to reduce greenhouse gas emissions in Norway, increasingly strict requirements are being imposed on the energy consumption of buildings. With 80% of energy usage in Norwegian buildings going towards heating and hot water, it is evident that well-planned heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems are central to achieve the overarching climate goals. As BIM is prevalent in the Norwegian construction industry, it is of interest to explore the possibilities of streamlining work by using BIM tools for HVAC calculations. Currently, Sweco uses complex spreadsheets for HVAC calculations, while Revit, with the HVAC module MagiCAD, is used to create 3D models of the systems. Therefore, it is appropriate to examine whether MagiCAD provides sufficient accuracy, reliability, and user-friendliness compared to the conventional methods, and whether it is beneficial to adopt this tool in the design process.

Through examinations conducted on the software, it is possible to identify the strengths and weaknesses of the tool and evaluate the potential benefits of utilizing the feature. For this study, a 3D model of an ambulance station was used as a basis, with the HVAC system of the building being dimensioned according to the traditional methods. Thus, most changes suggested following the calculations, will result from differences between the two methods. This can also help identify which parameters are needed, and any other considerations needed to effectively utilize the calculation function in MagiCAD.

The results of the examinations show that there are differences in the number of changes suggested, depending on which sub-system of the heating-, ventilation-, or plumbing system was examined. The heating system had relatively few changes, as MagiCAD proposed to change the dimensions of 26% of all components, while the ventilation system had changes to 33% of all components. The plumbing system had more extensive changes, with 59% of all components having different dimensions from those proposed by MagiCAD. The study also shows that MagiCAD requires several parameters to carry out the calculations, such as all airflows, water demands and heating demands being calculated ahead of time, as well as all installations that determine the flow rate being modelled in. Additionally, MagiCAD imposes several requirements on how the model must be designed for the calculations to work.

Differences in the theory for the two methods have a minor impact on the calculations. When calculating the friction losses, there are slight differences in the theoretical basis, although they should not have a significant impact on the results. However, there are notable differences in how the flow rate in the hot water circulation system is calculated, resulting in large discrepancies between the methods when calculating the dimensions for the plumbing system. The most noteworthy differences between the methods lie in how the minor loss coefficient is calculated, which can affect the pressure loss calculations.

The main challenges associated with using MagiCAD for HVAC calculations, is that there are many prerequisites for the calculations to be possible. These include requirements for which installations that must be included in the model, how the systems must be connected, and that all components are assigned to the correct system. By examining the results of the calculations, as well as the advantages and disadvantages of using MagiCAD, it can be concluded that the calculation software is best suited for smaller buildings, and that it yields significantly better results for heating and ventilation systems compared to the plumbing system.

Since Sweco already uses MagiCAD for HVAC design, it may be advantageous to also use the calculations software, as it can help reduce the workload during the design process. Although there are several factors that may pose challenges when using the calculation software, these can to some extent be avoided, as long as the requirements of the program are considered during the modelling.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for tema.....	1
1.2	Oppgavens formål	2
1.3	Problemstilling	2
1.4	Begrensninger	2
1.5	Disposisjon	3
2	Teori.....	4
2.1	Strømningsteknisk grunnlag.....	4
2.2	Sanitærteknikk	5
2.3	Varmeteknikk	9
2.4	Ventilasjonsteknikk.....	11
2.5	Beregningsgrunnlag for MagiCAD	13
2.5.1	Sanitær- og varmeteknikk	13
2.5.2	Ventilasjon.....	16
3	Metode	20
3.1	Beskrivelse av test-case	21
3.2	Dimensjoneringsmetode i MagiCAD.....	22
4	Resultat.....	25
4.1	Grunnlag for å gjennomføre beregningene	27
4.1.1	Sanitær	28
4.1.2	Varme.....	30
4.1.3	Ventilasjon.....	30
4.2	Trykktapsberegning	32
4.3	Begrensninger ved beregning i MagiCAD	33
4.4	Linking av systemskjema mot modell.....	35
5	Diskusjon.....	36
5.1	Forskjeller i teori.....	37
5.2	Nøyaktighet og pålitelighet.....	38
5.3	Brukervennlighet.....	40
5.4	Fordeler ved bruk av MagiCAD.....	40
5.5	Ulemper ved bruk av MagiCAD	41
5.6	Anbefalinger for bruk under prosjektering.....	43
6	Konklusjon.....	45
7	Videre Arbeid	47
	Referanseliste	48
	Vedlegg.....	50

Tabelliste

Tabell 2.1. Normalvannmengde for kaldt og varmt vann for sanitærinstallasjoner (Stensaas, 1999). ..	6
Tabell 2.2. Normalvannmengde for avløp for sanitærinstallasjoner (SINTEF byggforsk, 2011).....	8
Tabell 2.3. Frekvensfaktorer for samtidighetsberegning.	15
Tabell 2.4. Formler for beregning av trykktap i forhold til hvordan luften strømmer i en T-kanal (MagiCAD, 2018).....	18
Tabell 2.5. Formler for støttapskoeffisienter for luft inn i fordelingskammer (MagiCAD, 2018).	19
Tabell 4.1. Utsnitt av rapporten etter dimensjonering av varmesystemet.....	25
Tabell 4.2. Oversikt over resultatene fra beregningene.	26
Tabell 4.3. Oversikt over resultatene fra beregningene når kun rør og kanaler inkluderes.	27
Tabell 4.4. Rapporten for dimensjonering av inntak.	31
Tabell 4.5. Utsnitt av rapporten som viser systemet mellom ventilasjonsaggregatet og avkastet.....	32

Figurliste

Figur 2.1. Diagram for beregning av maksimal samtidig vannmengde (SINTEF byggforsk, 2011).	8
Figur 2.2. Kurver for beregning av støttapskoeffisienter (Zijdemans et al., 2014).	11
Figur 2.3. Diagram for trykktapsgradient for sirkulære kanaler (Lindab, 2021).	12
Figur 3.1. Beregningsfunksjonene i MagiCAD for henholdsvis rør og ventilasjon.....	20
Figur 3.2. Modell av ambulansestasjonen som brukes som beregningsgrunnlag.....	21
Figur 3.3. Modell av VVS-anlegget i ambulansestasjonen.	22
Figur 3.4. Parameterne valgt for dimensjonering av sanitæranlegget.	23
Figur 3.5. Parameterne valgt for dimensjonering av varmesystemene.....	24
Figur 3.6. Parameterne valgt for dimensjonering av ventilasjonssystemet.....	24
Figur 4.1. Feilmelding som følge av "Closed network".	28
Figur 4.2. Feilmelding når komponenter er koblet til feil system.	28
Figur 4.3. Feilmelding når deler av systemet ikke er koblet til riktig.	28
Figur 4.4. Dialogboks når systemet kobles fra hverandre.....	29
Figur 4.5. Kobling mellom sirkulasjonsledning og varmtvannsledning som tillater beregninger.....	30
Figur 4.6. Utsnitt av rapporten for trykktapsberegningene på varmesystemet for plan U1.	33
Figur 4.7. Overstrømningskanal (markert i gult) som det ikke kan gjøres beregninger på.....	34
Figur 4.8. Bypassløsning for ventilasjonsanlegg.	34
Figur 4.9. Meny for å spesifisere parametere som skal synkroniseres.....	35
Figur 5.1. Oversikt over effekten av å kun inkludere rør i beregningene.	36
Figur 5.2. Utsnitt av rapport som viser hvor noen av endringene forekommer.	39
Figur 5.3. Rapport med oversikt over alle elementene som kobles fra hverandre etter at dimensjonsendringene er oppdatert til modellen.....	42

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for tema

Varme-, ventilasjon- og sanitærteknikk er et sentralt fagfelt i byggebransjen. Gjennom årtusener har mennesker anvendt ulike former for VVS-teknikk, både for å heve livskvaliteten til beboere, men også for å forbedre funksjonaliteten til bygg. I dag er VVS-teknikk avgjørende for å fremme bærekraftige bygninger. For å sikre at VVS-anleggene utføres på en kostnadseffektiv, bærekraftig og gjennomførbar måte som tilfredsstillende funksjonskravene, kreves det en nøye og metodisk planleggingsprosess for hvordan anlegget skal bygges opp. En del av denne planleggingen går ut på å beregne luftmengder, varmebehov og vannbehov, samt undersøke hvordan de på best mulig måte kan distribueres til delene av bygget hvor behovet er.

Regjeringen har satt mål om å redusere klimagassutslippet i Norge med 50 til 55 prosent i forhold til 1990-nivået frem mot 2030 (Regjeringen, 2023). Byggenæringen står i dag for store deler av energibruken i Norge. Ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er rundt 80% av energibruken i norske bygg dedikert til romoppvarming og varmtvann (NVE, 2019). I TEK17 stilles det krav til både energieffektivitet, inneklima og vann- og avløpsinstallasjoner i bygg (Byggteknisk forskrift, 2024). Krav til både vifteeffekten i ventilasjonsanlegget og til implementering av energifleksibile varmesystemer gjør at bærekraftige og energieffektive VVS-systemer er sentrale for å begrense energiforbruket i bygg. Når det i tillegg er krav om at sanitæranlegget skal ivareta god helse for brukerne av bygget, og ventilasjonsanlegget skal sikre tilfredsstillende luftkvalitet, er det tydelig at godt planlagte og utførte VVS-anlegg er kritiske for å oppnå de overordnede målene om bærekraft og energieffektivitet i byggesektoren.

Sweco opplyser at det i dag i vesentlig omfang benyttes regneark for å gjennomføre beregninger knyttet til VVS-prosjektering. Dette underbygges av Thunshelle, som påpeker at det blant flere rådgivningsfirmaer benyttes regneark, til tross for den utbredte bruken av BIM (Bygningsinformasjonsmodellering) i Norge (Thunshelle, 2018), og at bruken av BIM har vært økende siden det først ble tatt i bruk på 70-tallet (Volk et al., 2014). Produksjon av 3D-modeller og systemskjemaer er en viktig del av VVS-prosjekteringen. Dette frembringer derfor spørsmål om hvorvidt det finnes alternative beregningsmetoder for varme- ventilasjon- og sanitæranlegg knyttet til BIM, og om det dermed kan være muligheter for å effektivisere prosjekteringsarbeidet ved å kombinere VVS-beregningene med arbeidet som allerede gjøres i modelleringsprogrammer.

En studie fra 2022 hadde som mål å undersøke mulighetene for bruk av kunstig intelligens til å automatisere designprosessen for VVS-anlegg. Ved hjelp av et forsøk utført på et enkelt kontorbygg, konkluderte studien at det var gjennomførbart å designe VVS-anlegg ved hjelp av AI (Wang et al., 2022). Dette viser at det er interesse for å effektivisere VVS-prosjektering ved å integrere den teknologien som er tilgjengelig, og at det stadig utvikles nye metoder og prosesser for å redusere arbeidsmengden som må legges ned under VVS-prosjektering.

For å utforske mulighetene knyttet VVS-beregninger i BIM-verktøy, er det hensiktsmessig å foreta en grundig evaluering av potensialet for å gjøre beregninger ved hjelp av disse verktøyene. Dette innebærer en komparativ analyse av funksjonaliteten i verktøyet i forhold til de konvensjonelle beregningsmetodene. Videre er det essensielt å vurdere det underliggende teoretiske rammeverket for de respektive metodene, med fokus på å identifisere eventuelle forskjeller som kan bidra til ulike utfall ved bruk av de forskjellige beregningsmetodene.

Det finnes flere tilleggsprogrammer for Revit som muliggjør VVS-modellering, eksempelvis MagiCAD eller Autodesk Revit MEP. I tillegg til Revit, er det MagiCAD som det er av interesse å undersøke. Revit er et 3D-modelleringsprogram som benyttes inne bygg- og anleggsbransjen, og som gjør det enklere å

koordinere og samarbeide mellom de forskjellige fagdisiplinene involvert i prosjektet (Autodesk, 2024). MagiCAD er en tilleggsmodul i Revit som kan benyttes til å lage 3D-modeller og systemskjemaer for VVS-systemer. MagiCAD tilbyr et omfattende utvalg av verktøy for modellering av tekniske systemer, blant annet et stort utvalg av VVS-komponenter, samt verktøy for å gjøre dimensjonerings-, balanseringer og trykktapsberegninger for VVS-anlegget. Programmet besitter også funksjoner for å lage systemskjemaer, og muligheter for å linke de opp mot 3D-modellen (MagiCAD, 2024). Det er funksjonaliteten til disse verktøyene som er av interesse, da de kan bidra til en effektivisering av prosjekteringsarbeidet.

En studie publisert i 2019 viser at sammenlignet med «tradisjonelle» beregningsmetoder hvor det ble benyttet 2D-tegninger fra AutoCAD, vil det oppstå små forskjeller ved bruk av dimensjoneringsverktøyet. De reelle forskjellene mellom arbeidsmetodene kom primært ved trykktapsberegninger (Brett, 2019). Det kan dermed være interessant å utforske hvordan resultatene av undersøkelsene måles opp mot det tidligere studiet.

1.2 Oppgavens formål

Som nevnt tidligere, benytter Sweco Narvik regneark for å gjøre VVS-beregninger. Dette skjer parallelt med at alle rør, kanaler og VVS-installasjoner må modelleres inn i en 3D-modell ved hjelp av Revit og MagiCAD. Dermed er det hensiktsmessig å undersøke hvorvidt det å gjøre beregninger i Revit ved hjelp av MagiCAD, vil medføre en mer effektiv prosjektering. Det må gjøres ved å undersøke funksjonaliteten til beregningsverktøyene i MagiCAD, og kartlegge hvilke parametere som må ligge til grunn for å gjennomføre beregningene med et tilfredsstillende resultat. For å fastslå om beregninger direkte i Revit er en reell mulighet for effektivisering, må det gjøres en sammenligning av de to arbeidsmetodene, og deretter gjøre en vurdering av både pålitelighet, nøyaktighet og effektivitet.

Det skal også undersøkes hvilke muligheter MagiCAD tilbyr for å linke systemskjema opp mot 3D-modellen, og på hvilke måter dette kan bidra til å effektivisere prosjekteringsarbeidet.

1.3 Problemstilling

Problemstillingen for oppgaven kan deles inn i tre deler og er:

- Hvilke muligheter eksisterer i Revit og MagiCAD for å gjennomføre VVS-beregninger, og hvilke parametere må ligge til grunn for å gjennomføre beregninger med tilfredsstillende nøyaktighet?
- Hvilke fordeler og ulemper er det ved å gjøre beregningene i Revit sammenlignet med tradisjonelle metoder, og hvordan vurderes disse opp mot hverandre?
- Hvilke muligheter eksisterer for å linke systemskjema opp mot 3D-modellen, og hvilke fordeler kan det bringe?

1.4 Begrensninger

Oppgaven vil kun omfatte beregninger gjort i modelleringsprogrammet Revit med tilleggsmodulen MagiCAD, samt den tradisjonelle beregningsmetoden som benyttes i dag ved hjelp av regneark. Selv om det er flere muligheter for å gjøre beregninger i MagiCAD, vil oppgaven kun ta for seg beregninger knyttet til varme-, ventilasjon- og sanitæranlegg, og ikke beregninger for sprinkleranlegg, eller gassrør. Oppgaven vil heller ikke omfatte funksjonene for å gjøre lydberegninger for ventilasjonssystemet i MagiCAD.

1.5 Disposisjon

Oppgaven er delt inn i fem deler for å sikre en systematisk tilnærming til arbeidet. Den innledende av oppgaven er en teoridel, dedikert til en gjennomgang av teorien som ligger til grunn for både de konvensjonelle beregningsmetodene, og for beregningsmetodene i MagiCAD. Den påfølgende delen beskriver metodikken for hvordan oppgaven skal gjennomføres, og en forklaring av metodene som anvendes for å hente inn data. Videre vil den beskrive hvordan det skal sikres at resultatene er pålitelige, og hvordan de skal analyseres. Den tredje seksjonen presenterer resultatene som er oppnådd via arbeidet, og legger frem dataene som er samlet, samt illustrerer resultatene ved hjelp av både tabeller og figurer. Den neste delen omfatter en diskusjon som søker å analysere dataene, og vurderer hvordan beregningsmetodene i MagiCAD sammenlignes med de tradisjonelle beregningsmetodene for å gi en forståelse for eventuelle avvik, og deres årsaker. Basert på analysene og resultatene, har konkrete anbefalinger blitt formulert for Sweco og andre potensielle interessenter innenfor næringslivet. Oppgaven avsluttes med en konklusjon, i tillegg til en anbefaling for det videre arbeidet.

2 Teori

2.1 Strømningsteknisk grunnlag

For all teknikk innenfor varme, ventilasjon og sanitær, står strømmingen av fluider sentralt. For å bringe varmt vann, forbruksvann eller frisk luft til de områdene som har behov for det, er det hensiktsmessig å granske strømmingen av fluider i rør og kanaler. Når et fluid strømmer gjennom et rør eller en kanal uten at det oppstår noen lekkasjer, vil volumstrømmen forbli konstant. Dette er beskrevet i kontinuitetsligningen:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (2.1)$$

hvor ρ er massestrømmen i røret eller kanalen, ρ er fluidets massetetthet, A er tverrsnittsarealet på røret eller kanalen og v er fluidets hastighet. Denne ligningen tar utgangspunkt i at fluidet anses som inkompressibel. Kontinuitetsligningen viser at volumstrømmen må være konstant, og at det vil resultere i en endring i hastigheten hvis tverrsnittet til røret eller kanalen endres (Ingebrigtsen, 2019).

For å sette fluider i bevegelse er det nødvendig å ha en trykkforskjell, ettersom det er trykkforskjellen som er drivkraften bak bevegelsen. Teorien bak hvordan trykkforskjell kan sette et fluid i bevegelse er beskrevet i Bernoulliligningen:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstant} \quad (2.2)$$

hvor p er det statiske trykket, ρ er fluidets massetetthet, v er fluidets hastighet, g er tyngdens akselerasjon og h er høyden. Bernoulliligningen tar som følge at fluidet er friksjonsfri og inkompressibelt, samt at det ikke er turbulent strømming (Helseth, 2021). Den kan derfor ikke benyttes til å nøyaktig beskrive forholdene i rør og kanaler, da det ofte vil være turbulent strømming i disse, men kan allikevel spille en sentral rolle i å beskrive trykkforholdene i et rør eller i en kanal. Leddene i Bernoulliligningen er henholdsvis det statiske trykket, det dynamiske trykket og høydestrykket. Det statiske trykket er trykket som er i røret eller kanalen når fluidet er stillestående, det dynamiske trykket er trykket som oppstår på grunn av fluidets bevegelse, mens høydestrykket er trykket som oppstår som følge av gravitasjonens virkning på fluidet (Ingebrigtsen, 2019). Eksempelvis kan den benyttes til å beskrive hvordan trykket og hastigheten påvirker hverandre over en installasjon. Hvis hastigheten øker i et rør eller en kanal, vil det medføre en reduksjon i trykknivået, gitt at høydestrykket er konstant.

I mange tilfeller er det ønskelig å holde trykktapet i et rør eller en kanal til et minimum. Trykktapet kan kategoriseres i to hovedtyper: friksjonstap og støttap. Friksjonstapet er trykkfallet som kommer av friksjonen som oppstår mellom fluidet, og de innvendige veggene i røret eller kanalen. Det bestemmes i mange tilfeller ved hjelp av et nomogram (SINTEF byggforsk, 2017b), men kan også beregnes etter formelen:

$$\Delta p_f = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.3)$$

hvor f er friksjonstallet, D er den innvendige diameteren. Friksjonstallet er avhengig av hvorvidt fluidet har laminær eller turbulent strømming, noe som bestemmes av Reynolds-tallet. Reynolds-tallet beregnes etter:

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (2.4)$$

hvor ν er den kinematiske viskositeten til fluidet, mens μ er den dynamiske viskositeten. Hvis Reynolds-tallet holder seg under 2300, regnes det som laminær strømming, mens det regnes som

turbulent strømning hvis det er over 2300. Friksjonstallet for turbulent strømning beregnes ved hjelp av Colebrooks formel, altså ligning (2.6), som er utarbeidet ved hjelp av empiriske metoder. Friksjonstallet beregnes etter de følgende uttrykkene:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad \text{hvis} \quad \text{Re} \leq 2300 \quad (2.5)$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{hvis} \quad \text{Re} > 2300 \quad (2.6)$$

benyttes for å uttrykke rørveggenes absolutte ruhet (Zijdemans et al., 2014). En enkel betraktning av ligning (2.4) viser at hvis Reynolds-tallet skal være på 2300 vil det kreve forholdsvis små verdier på både diameter og hastighet. Derfor vil det i de aller fleste tilfellene være turbulent strømning i rørene og kanalene.

Støttapet er trykkfallet som oppstår i bend, ventiler, avgreninger, tverrsnittsendringer eller andre installasjoner (Boland, 2001). Støttapet uttrykker alt trykktapet over komponenten og støttapskoeffisienten tar dermed hensyn til friksjon, retningsendring eller endring i tverrsnittsarealet (Ingebrigtsen, 2019). Støttapet i en enkelt komponent beregnes etter:

$$\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.7)$$

hvor ξ er støttapskoeffisienten for den aktuelle komponenten. Støttapskoeffisienten bestemmes i utgangspunktet ut ifra empiriske data samlet om de forskjellige komponentene, og vil bli beskrevet i mer detalj senere i oppgaven.

2.2 Sanitærteknikk

Sanitæranlegget består av alle installasjoner som behandler, benytter og transporterer varmt vann, kaldt vann, spillvann og overvann. Som det kommer frem i kapittel 1, stiller TEK17 krav til sanitæranlegg som er avgjørende for å opprettholde brukerens helse (Byggteknisk forskrift, 2024). Det er derfor essensielt at både forbruksvann og spillvann transporteres til sine destinasjoner både effektivt og pålitelig. For å garantere at disse kravene blir møtt, må dimensjonene på rørene være tilpasset forholdene. I utgangspunktet vil rørene dimensjoneres i forhold til vannmengdene som skal strømme gjennom det aktuelle røret, hvor beregningen av volumstrømmen tar utgangspunkt i de normerte vannmengdene tilknyttet de forskjellige installasjonene i bygget.

Tabell 2.1. Normalvannmengde for kaldt og varmt vann for sanitærinstallasjoner (Stensaas, 1999).

Tappedsted	Normalvannmengde [l/s]	
	Kaldt	Varmt
Drikkefontene	0,5	-
Klosettsisterne	0,1	-
Servantbatteri	0,1	0,1
Bidébatteri	0,1	0,1
Tappeventil/Slangekran (innendørs)	0,2	0,2
Oppvaskbatteri	0,2	0,2
Batteri til utslagsvask og til skyllekar/vaskekar	0,2	0,2
Dusjbatteri	0,2	0,2
Vaskemaskin til husholdninger	0,2	0,2
Oppvaskmaskin til husholdninger	0,2	-
Badebatteri	0,3	0,3
Hagekran, gårds-kran	0,4	-
Spyleventil for urinaler	0,4	-
Spyleventil for WC	1,3	-

Tabell 2.1 gir en oversikt over normalvannmengdene til forskjellige tappesteder for forbruksvann. Normalvannmengdene bør ikke brukes direkte, da det er usannsynlig at alle sanitærinstallasjonene i et bygg er i bruk samtidig, noe som kan medføre til overdimensjonerte anlegg. Derfor er det hensiktsmessig å beregne sannsynlig maksimal vannmengde. Det gjøres ved hjelp av summen av de aktuelle normalvannmengdene, samt den største normalvannmengden for ett enkelt tappested. Sannsynlig maksimal vannmengde beregnes ofte ved hjelp av tabeller eller grafer, men vil uansett være basert på formelen:

$$\text{---} \quad (2.8)$$

hvor er normalvannmengde for de aktuelle tappestedene og er den største normalvannmengden for et enkelt tappested. Formelen bør brukes med omhu da den ikke alltid vil være nøyaktig. Den tar ikke hensyn til tilfeller hvor det er stor sannsynlighet for at flere tappesteder brukes samtidig, som for eksempel badeanlegg, vaskeri og lignende (Stensaas, 1999).

Den største samtidige vannmengden gjør at det er mulig å finne de nødvendige dimensjonene på vannledningene. For en forenklet dimensjonering av rørene, benyttes vanligvis Tabell 6 i Tekniske bestemmelser (KS, 2017), men det er også mulig å finne dimensjonene på røret ved hjelp av formelen:

$$\text{---} \quad (2.9)$$

Når varmtvann skal tas i bruk, er det vanligvis en liten ventetid før varmtvannet kommer frem til blandebatteriet, og tappevannet når ønsket temperatur. Dette er en ventetid som det er ønskelig å holde under 10-20 sekunder, slik at brukeren ikke må la vannet renne over lengre tid. Ventetiden ved tapping av varmtvann beregnes ved hjelp av formelen:

(2.10)

—
hvor d er den innvendige diameteren på røret, L er lengden på rørstrekket, og Q er normalvannmengden for tappestedet. Formelen beregner i praksis tiden det tar å tømme rørstrekket mellom tappestedet og varmekilden for vann (Stråby, 2021).

For å redusere ventetiden for varmt vann kan det enten brukes selvregulerende varmekabler direkte på ledningen, eller ved å bruke en sirkulasjonsledning som gjør at varmt vann sirkulerer i anlegget ved hjelp av en sirkulasjonspumpe. Da vil det til enhver tid være varmtvann i ledningene som er lett tilgjengelig for tappesteder.

For å kunne beregne de nødvendige dimensjonene på sirkulasjonsledningen, må varmetapet til sirkulasjonsledningen beregnes. Det gjøres ved å summere deltapene, altså hvert rørstrekk sitt spesifikke varmetap multiplisert med rørlengden til det aktuelle strekket. Varmetapet benyttes deretter til å finne volumstrømmen for sirkulasjonsledningen, som beregnes etter formelen:

(2.11)

—
hvor Q_{varmetap} er varmetapet for sirkulasjonsledningen og varmtvannsledningen, c_p er spesifikk varmekapasitet for vannet, ρ er vannets massetetthet, og ΔT er temperaturdifferanse mellom utløp fra berederens blandeventil og returtemperaturen til sirkulasjonsledningen. Varmetapet for sirkulasjonsledningen beregnes ved å summere produktet av rørlengdene og det spesifikke varmetapet for hvert rørstrekk. Normalt kan det spesifikke varmetapet settes til 10 W/m (Stråby, 2021). Temperaturdifferansen bør ikke overskride 3-5°C (Stensaas, 1999).

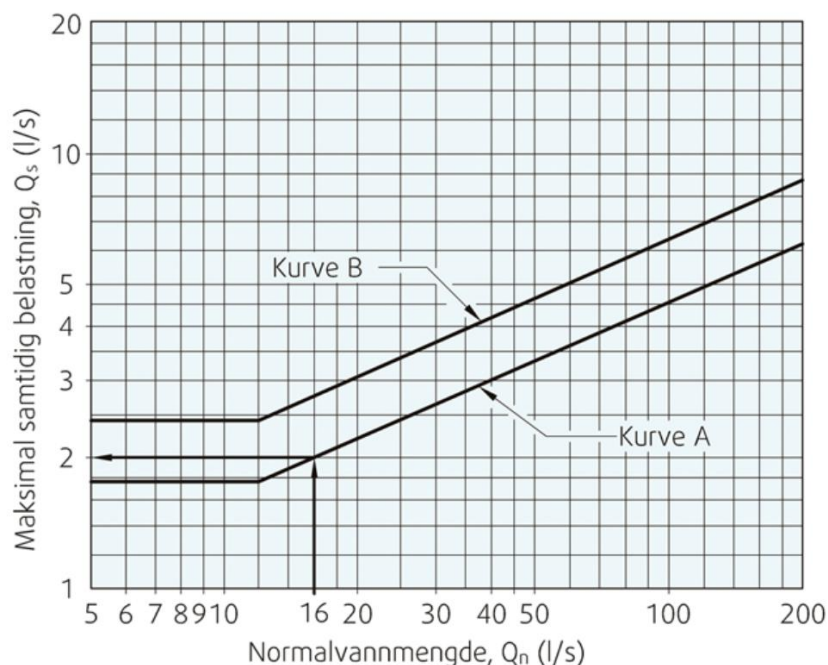
Ved hjelp av volumstrømmen og hastigheten som skal være i ledningen, vil det da være mulig å finne rørdimensjonene på sirkulasjonsledningen. Ettersom VTEK anbefaler at vann i sirkulerende systemer holder minst 65°C for å forhindre vekst og spredning av legionellabakterien, er det begrenset hvor høy hastighet vannet kan ha. Ved slike temperaturer, bør ikke hastigheten på vannet i sirkulasjonsledningen overskride 0,5 m/s, ettersom det vil øke risikoen for erosjonskorrosjon i kobberør (SINTEF byggforsk, 2014). Ved bruk av AluPex-rør vil det være mulig å øke hastigheten litt, da AluPex-rør er mindre utsatt for erosjonskorrosjon (Walnum, 2021).

En annen sentral del av sanitæranlegget, er avløpsnettet. Ifølge TEK17 er det krav om at «avløpsvannet ledes bort i takt med den tilførte vannmengden» (Byggteknisk forskrift, 2024). Det er dermed særdeles viktig at avløpsrørene har tilstrekkelige dimensjoner for å tilfredsstille dette kravet. For dimensjonering av avløpsrør benyttes det også standardverdier for normalvannmengdene for det relevante utstyret. Tabell 2.2 gir en oversikt over normalvannmengdene for diverse sanitærutstyr, samt hvilke dimensjoner som er tillatt på rørledningen ut fra installasjonen.

Tabell 2.2. Normalvannmengde for avløp for sanitærinstallasjoner (SINTEF byggforsk, 2011).

Sanitærutstyr	Normalvannmengde (Q_n) l/s	Minste tillatte utvendige rørdiameter etter vannlås mm
Bidé	0,3	32
Urinal (per stand)	0,3	32
Servant	0,4	32
Dusj	0,4	40
Oppvaskkum	0,6	40
Vaskemaskin	0,6	40
Oppvaskmaskin	0,6	40
Badekar	0,9	40
Vaskekar og utslagsvask	0,9	50
Klosett (9 liter)	1,8	90
Golvsluk	1,5	75

Det vil igjen være urimelig å summere normalvannmengdene for å dimensjonere avløpsrørene, og derfor beregnes det en sannsynlig maksimal belastning. Maksimal samtidig belastning beregnes hovedsakelig ved hjelp av to kurver som tar høyde for normalvannmengden, og hvilke typer bygg det skal dimensjoneres for. Disse kurvene er vist i Figur 2.1. Kurve A gir en mindre normalvannmengde enn kurve B. Det kommer av at kurve B representerer sykehus, hoteller, kinoer, forsamlingshus og skoler, mens kurve A representerer boligbygg, forretningsbygg og aldershjem (SINTEF byggforsk, 2011).



Figur 2.1. Diagram for beregning av maksimal samtidig vannmengde (SINTEF byggforsk, 2011).

Det er også mulig å finne den samtidige spillvannsmengden ved hjelp av en formel. I utgangspunktet benyttes formelen for største samtidige vannmengde, altså ligning (2.8), også for å beregne største samtidige spillvannsmengde. Det er imidlertid utviklet en forenklet formel:

(2.12)

hvor Q er normalvannmengden for et enkelt tappested, og C er en konstant med verdien 0,55 for kurve A og 0,756 for kurve B (Stensaas, 1999).

For å finne rørdimensjonene benyttes det i all hovedsak diagrammer som baseres på hvilke rørtyper som skal brukes. For liggende avløpsledninger vil fallet og den samtidige belastningen være avgjørende for rørdimensjonene. For stående ledninger er det kun den samtidige belastningen som spiller en rolle. Alternativt til diagrammet, kan det benyttes formler for diameteren på stående avløpsledninger, som tar utgangspunkt i den samtidige vannmengden. Disse formlene er:

for støpejernsrør (2.13)

for plastrør (2.14)

Den lille forskjellen i faktoren kommer av at støpejernsrør og plastrør har forskjellig ruhet. Videre er det en rekke andre regler som må tas til følge for dimensjoneringen, blant annet at krav om Ø110 rør for bunnledning under kjellergolv og for ventilasjonsledningen, i tillegg til kravene presentert i Tabell 2.2. Avløpsrørene skal heller ikke innsnevres i strømningsretning (Stensaas, 1999).

Trykktapet for vann- og avløpsrørene beregnes etter metoden beskrevet i kapittel 2.1. Stensaas gir en oversikt over hvilke støttapskoeffisienter som benyttes for de forskjellige komponentene (Stensaas, 1999).

2.3 Varmeteknikk

TEK17 stiller krav til energibehovet til et bygg, og ettersom store deler av energibruken i boliger går til oppvarming, er det naturlig å se på måter å redusere varmetapet i bygg på. Kravene i forskriften kan tilfredsstilles enten ved bruk av energirammemodellen, som stiller krav til netto energibehov per kvadratmeter, eller ved bruk av energitiltaksmodellen, som setter konkrete krav til energieffektiviteten til hver enkelt bygningsdel. Begge modellene er beskrevet i §14-2 i TEK17. Verdien gitt i energitiltaksmodellen vil i utgangspunktet tilfredsstille kravene stilt i energirammemodellen, men det er også muligheter for å omfordele varmetapet for å tilpasse den enkelte bygningen. Da er det minstekravene gitt i §14-3 som setter krav til bygningsdelene (Byggteknisk forskrift, 2024).

Varmeberegninger gjøres etter SN-NSPEK 3031:2023, og er avhengig av klimadata for området, og hvilke temperaturer som skal være innendørs. Det er i all hovedsak dimensjonerende utetemperatur som er avgjørende for varmetapsberegningene, en verdi beregnet ut ifra den høyeste og laveste middeltemperaturen over tre dager i løpet av en 30 års periode (Ellingsen, 1990). Ved hjelp av disse beregnes transmisjons-, infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetapet, og dermed effektbehovet til varmeinstallasjonene i det aktuelle rommet.

Transmisjonstap

Transmisjonstap er varmetapet som kommer av en varmforskjell på hver side av en bygningsdel. Da vil varmen strømmen gjennom bygningsdelen for å utjevne varmforskjellene. Transmisjonstapet beregnes med metode gitt i SN-NSPEK 3031:2023, hvor varmetap til det fri, til grunnen, til uoppvarmede soner og til tiliggende bygninger kan beregnes for å avgjøre varmetap gjennom den gitte bygningsdelen (Standard Norge, 2023). I utgangspunktet beregnes transmisjonsvarmetapet gjennom en bygningsdel ved hjelp av formelen:

(2.15)

hvor A er arealet til bygningsdelen, U er varmegjennomgangskoeffisienten til bygningsdelen, og ΔT er temperaturdifferansen mellom dimensjonerende utetemperatur, og ønsket innetemperatur. Det må i tillegg tas til følge at det vil være transmisjonsvarmetap gjennom kuldebroer, da denne formelen ikke tar høyde for det.

Infiltrasjonstap

Infiltrasjonstap er varmetapet som kommer som følge av trykkforskjell. Når det er høy temperatur inne, og lav temperatur ute, vil densitetsforskjellene i lufta ved forskjellige temperaturer skape oppdrift. Det vil medføre et innvendig overtrykk oppe, og et utvendig overtrykk nede på veggen. Dermed vil kald luft trenge inn i bygget og varm luft trekkes ut av bygget. Infiltrasjonsvarmetapet beregnes etter tillegg C i SN-NSPEK 3031:2023, og tar utgangspunkt i lekkasjetallet for et bygg ved 50 Pa trykkforskjell. Infiltrasjonen beregnes etter formelen:

(2.16)

hvor V er volumet av bygget og n er antallet luftskifter i bygget per time. Q_{in} beregnes ut ifra terrengskjerming på området hvor det aktuelle bygget står, lekkasjetallet som er målt for bygget, og tillufts- og avtrekksmengdene i ventilasjonsanlegget. Formelen kan benyttes til å beregne varmetapet for et bygg ved én grads temperaturforskjell. Faktoren 0,33 kommer av at:

—

(2.17)

hvor c_p er luftens spesifikke varmekapasitet og ρ er luftens massetetthet, og tar dermed høyde for energien som krever for å varme opp luften som trekker inn i bygget (Standard Norge, 2023).

Ventilasjonstap

Ventilasjonstapet til et bygg kommer som følge av at luften i et bygg skiftes ut med uteluft via ventilasjonsanlegget. For å kunne utnytte den varme luften som trekkes ut av bygget, benyttes den til å varme opp tilluften ved hjelp av en varmeveksler. Derfor blir virkningsgraden til varmeveksleren sentral for å avgjøre hvor mye varme som forsvinner ut av bygget via ventilasjonsanlegget. Temperaturen på tilluften vil naturligvis ikke ha samme temperatur som avtrekksluften, og dermed kan det bli behov for et varmebatteri i ventilasjonsanlegget, som bidrar til oppvarming. Varmetapet fra utskifting av luft i et bygg beregnes ved hjelp av formelen:

(2.18)

hvor Q_v er volumstrømmen i ventilasjonsanlegget, og η er virkningsgraden til varmegjenvinneren i ventilasjonsaggregatet (SINTEF byggforsk, 2016). Faktoren 0,33 kommer av de samme forholdene som beskrevet for infiltrasjon.

Vannbåren varme

Den nødvendige effekten for varmeinstallasjonene er sentral for å dimensjonere de nødvendige rørdimensjonene for det vannbårne varmeanlegget. Nå den ønskede effekten for varmeanlegget er bestemt, er det mulig å finne volumstrømmen i anlegget ved hjelp av formelen:

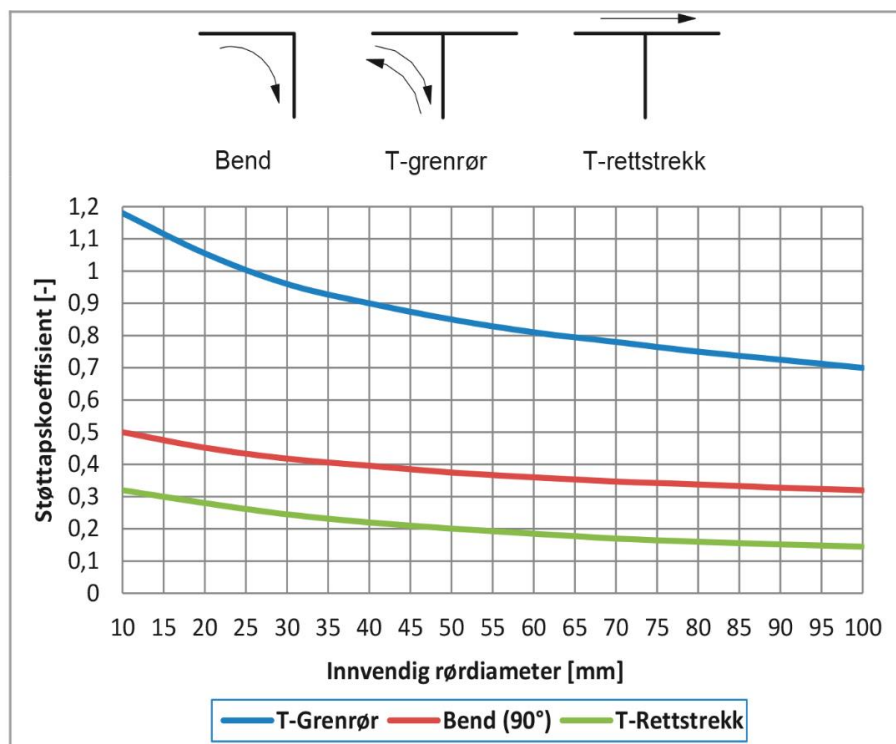
—

(2.19)

hvor Q er effekten, ρ_w er massetettheten til vann for den aktuelle temperaturen, $c_{p,w}$ er den spesifikke varmekapasiteten for vann ved den aktuelle temperaturen og ΔT_w er temperaturdifferansen mellom tur- og returtemperaturen for anlegget. Volumstrømmen er gjør at det er mulig å finne de nødvendige

rørdimensjonene ved hjelp av hastigheten i varmerørene. Hastigheten til vannet i varmerørene bør ikke overskride 1,5 m/s (Havellen, 2015).

For å distribuere vannet rundt i anlegget er det behov for en sirkulasjonspumpe. For å påse at pumpen har den nødvendige kapasiteten, dimensjoneres pumpen ut ifra den ugunstigste kretsen, altså kretsen med det største trykktapet. Da beregnes trykktapet i rørene etter den samme teorien som beskrevet i kapittel 2.1. Støttapskoeffisientene for varmeanlegget er et empirisk utarbeidet, og beskrevet i detalj i kapittel 35 i VVS-håndboken til ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) (ASHRAE, 2001). Deler av disse dataene er utarbeidet til kurver, som sammen med den innvendige rørdiameteren, kan brukes til å anslå støttapskoeffisientene. Kurvene er vist i Figur 2.2. Hvor mye trykket skal reduseres med i radiatorventilene bestemmes av differansen mellom trykkfallet til den ugunstigste kretsen og trykkfallet til de resterende kretsene (Boland, 2001).

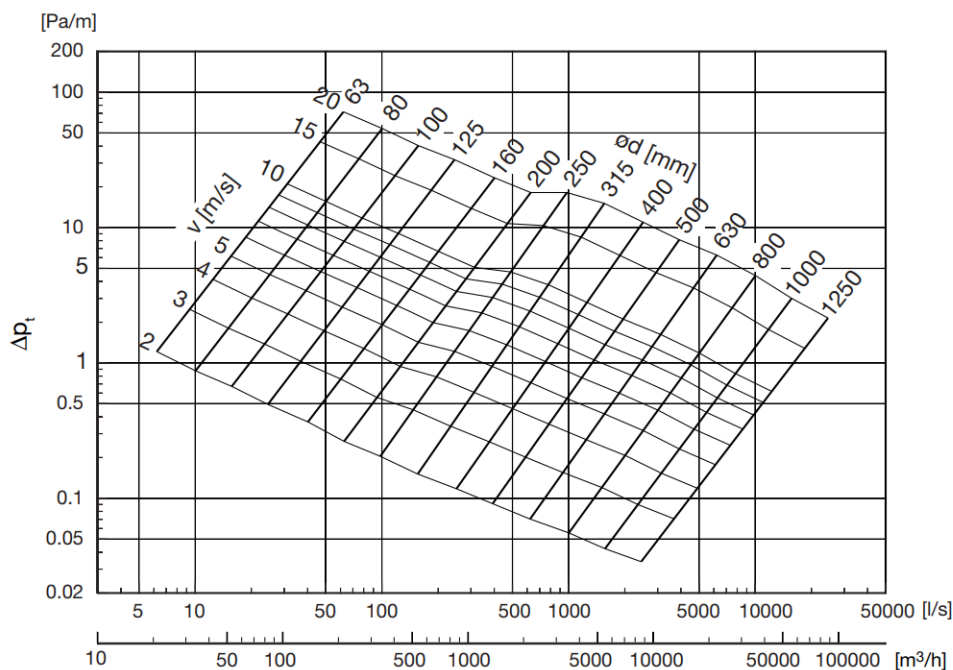


Figur 2.2. Kurver for beregning av støttapskoeffisienter (Zijdemans et al., 2014).

2.4 Ventilasjonsteknikk

Kapittel 14 i TEK17 stiller krav til energieffektiviteten til ventilasjonsanlegget. Det er da satt krav til at SFP-faktoren (Spesifikk vifteeffekt) ikke skal overskride 1,5 kW/(m³/s). For å redusere den nødvendige effekten som trengs for å transportere luft gjennom ventilasjonsanlegget, er det nødvendig å redusere trykktapet i anlegget.

Som beskrevet i kapittel 2.1, består trykktap i hovedsak av friksjonstap og støttap. Beregningsmetode for friksjonstapet er også beskrevet i kapittel 2.1, men for ventilasjonsanlegg er det også mulig å beregne trykktapsgradienten ved hjelp av Figur 2.3. Diagrammet i Figur 2.3 tar utgangspunkt i volumstrømmen, tverrsnittet og strømningshastigheten i den aktuelle kanalen for å beregne hvor stort trykktapet blir (Ingebrigtsen et al., 2021).



Figur 2.3. Diagram for trykktapsgradient for sirkulære kanaler (Lindab, 2021).

Diagrammet i Figur 2.3 tar i likhet med formelen beskrevet i kapittel 2.1 utgangspunkt i at ventilasjonskanalene er sirkulære. Derfor er det nødvendig å beregne den hydrauliske diameteren for en rektangulær kanal, slik at både diagrammet og ligningen kan benyttes til å beregne trykktap. Det gjøres ved hjelp av formelen:

$$\text{---} \quad (2.20)$$

hvor a og b er lengden av sidene på den rektangulære kanalen (Ingebrigtsen, 2019).

Støttapet som oppstår i ventilasjonskomponenter kan også beregnes på samme måte som beskrevet i kapittel 2.1. For et ventilasjonsanlegg vil støttapskoeffisienten være bestemt ut ifra hvilken komponent som skaper trykktapet. Ingebrigtsen beskriver støttapskoeffisienter, utarbeidet ved hjelp av en empirisk metode, for flere komponenter ved hjelp av tabeller (Ingebrigtsen, 2019). I tillegg vil hvert enkelt produkt har et produktdatablad som beskriver det aktuelle trykktapet.

Ved dimensjonering av ventilasjonskanaler, er det ønskelig å ha likt trykk i alle ventilene. Gitt at det ikke er behovsstyrt ventilasjon, vil trykket i de forskjellige kanalstrekene være konstant. Da må det settes inn reguleringsspjeld i kanalene, slik at trykket kan reduseres til det nødvendige nivået. Det tas da utgangspunkt i det ugunstigste kanalstrekket, altså kanalstrekket med størst trykktap, og de resterende kanalstrekene reguleres etter dette. Hvis det er behovsstyrt ventilasjon vil det være nødvendig med DCV-spjeld som regulerer trykket inn til hver ventil, ettersom den ugunstigste veien vil variere ut ifra hvilke rom som er i bruk (Ingebrigtsen et al., 2021).

Dimensjonene på ventilasjonskanalene bestemmes ut ifra volumstrømmen, og dermed luftmengdebehovet til bygget. Luftmengdebehovet for hvert enkelt rom er bestemt av rommets bruksområde, personbelastning, areal og materialer (SINTEF byggforsk, 2017a). Dette kommer av at forurensningen i et rom er avhengig av aktivitetsnivået til brukerne, samt at det forekommer avgassing fra materialer. VTEK oppgir en rekke minimumskrav for både boligbygninger, arbeidsbygninger og bygninger for publikum. I de fleste tilfeller vil det være balansert ventilasjon som er aktuelt, og da vil

tilluftsmengden og avtrekksmengden være like store. Selve dimensjoneringen kan også gjøres ved hjelp av Figur 2.3, gitt at trykktapsgradienten er bestemt.

2.5 Beregningsgrunnlag for MagiCAD

MagiCAD deler beregningsfunksjonen inn i to deler. Den ene delen benyttes til å gjøre beregninger på varme- og sanitæranlegget, mens den andre delen benyttes til å gjøre beregninger på ventilasjonsanlegget. Dermed er det mye felles teori som ligger til grunn for sanitær- og varmeanlegget. Det er allikevel noen forskjeller i mulighetene programmet tilbyr for de to fagene. Selv om dokumentasjonen for programvaren ikke oppgir informasjon om strømningsmeknikken som benyttes i beregningsfunksjonen, er det rimelig å anta at det teoretiske rammeverket som er oppgitt, er basert på den samme teorien som er beskrevet i kapittel 2.1 med mindre annet er beskrevet.

2.5.1 Sanitær- og varmeteknikk

For å beregne de nødvendige dimensjonene på sanitær og varmerør, er det flere forskjellige metoder som kan legges til grunn. Disse metodene er:

- *Dimensjoneringsmetode for VVC (varmtvannssirkulasjon)*. Beregningsmetoden tar utgangspunkt i at hastigheten ikke skal overskride 0,5 m/s. Dimensjonene på rørene blir da justert slik at dette kravet tilfredsstilles. Som navnet beskriver, er denne metoden beregnet til å bruke for sirkulasjonsledninger, da en høyere hastighet på vannet, i kombinasjon med temperaturen på vannet kan medføre erosjonskorrosjon i kobberør, slik beskrevet i kapittel 2.2.
- *Maks trykkfall 50, 100 eller 150 Pa/m*. Denne beregningsmetoden tar utgangspunkt i at friksjonstapet i rørene ikke skal overskride enten 50, 100 eller 150 Pa/m. Det settes da en maksverdi på hvor stort friksjonstapet kan være, og dimensjonene på rørene justeres for å tilfredsstille dette. Denne metoden er best egnet til å dimensjonere varmerør, da det er der det er ønskelig å holde trykktapet på disse nivåene.
- *Dimensjoneringsmetode for KV/VV (kaldt vann/varmt vann)*. Dimensjoneringsmetoden tar utgangspunkt i at hastigheten i rørene ikke skal overskride 2 m/s, og er dermed egnet til dimensjonering av kaldt- og varmtvannsrør. For denne metoden vil også størrelsene på rørene justeres for å tilfredsstille dette kravet. Denne hastigheten er godt egnet til en generell dimensjonering da den er godt tilpasset de fleste rørtyper ved de fleste temperaturer, slik beskrevet i Tekniske bestemmelser Tabell 4 (KS, 2017). Hastigheten er imidlertid høyere enn den anbefalte hastigheten på 1,5 m/s (Havellen, 2015).

Volumstrømmen som ligger til grunn for dimensjoneringen bestemmes av hvilke installasjoner som er koblet på rørene. Både varme- og sanitærinstallasjoner vil ha et fastsatt volumstrømningsbehov, som brukes til å beregne volumstrømmen i hvert enkelt rør.

Normalvannmengdene som benyttes av programmet for å gjennomføre beregningene for forbruks- og spillvann er bestemt av produktleverandøren. Når produktet etableres som en alternativ i MagiCAD, er både varmt- og kaldtvannsbehovet, samt spillvannsmengdene bestemt for hver enkelt komponent. Normalvannmengdene stemmer tilsynelatende overens med normalvannmengdene som benyttes ved tradisjonell beregning. Det kan også antas at varmetapet for både varmerørene og returledningene for sirkulasjonsrørene beregnes etter den vanlige teorien for varmetap.

For både sanitær- og varmeanlegget gjøres det beregninger for å fastslå trykktapet i rørene. Friksjonstapet i vann- og varmerør beregnes i utgangspunktet ved hjelp av samme metode som beskrevet i kapittel 2.1. Forskjellen er at grenseverdiene for skillet mellom laminær og turbulent strømning er annerledes. For å beregne friksjonstallet, benyttes ligning (2.5) hvis Reynolds-tallet er

under 2200, mens ligning (2.6) benyttes hvis Reynolds-tallet er over 2400. For intervallet mellom 2200 og 2400, benyttes uttrykket:

$$\frac{K}{\rho \cdot v^5} = \frac{0.0001}{\rho \cdot v^5} \quad (2.21)$$

MagiCAD gjør også en rekke beregninger på støttapet i vann- og varmerørene. Støttapet som kommer som følge av bend, beskrives med uttrykket:

$$\Delta p_{\text{bend}} = K_{\text{bend}} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.22)$$

er vinkelen på bendet, mens r er lengden på bendet.

Støttapet som kommer som følge av en tverrsnittsendring eller T-rør beregnes etter metoden beskrevet i kapittel 2.1. Det benyttes imidlertid flere forskjellige uttrykk for å beregne støttapskoeffisienten. For henholdsvis reduksjon og ekspansjon av tverrsnittet benyttes uttrykkene:

$$K_{\text{red}} = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \quad (2.23)$$

$$K_{\text{exp}} = 1 - \frac{A_2}{A_1} \quad (2.24)$$

hvor A_1 og A_2 er tverrsnittsarealet for henholdsvis det minste og det største tverrsnittet.

Ved beregning av støttapet som følge av et T-rør, beregner MagiCAD støttapet for rettstrekkene på samme måte som ved reduksjon eller ekspansjon, noe som betyr at støttapet vil regnes som null hvis det ikke er en endring i tverrsnittet. Støttapskoeffisienten settes til én dersom strømningsretningen i T-røret går til eller fra grenrøret. Unntaket fra dette er hvis strømmingen går fra grenrøret, og inn på rettstrekket. Da beregnes støttapskoeffisienten etter følgende formler:

$$K_{\text{T}} = 0.5 \quad \text{hvis} \quad \text{strømmingen går til eller fra grenrøret} \quad (2.25)$$

$$K_{\text{T}} = 0.2 \quad \text{hvis} \quad \text{strømmingen går fra grenrøret, og inn på rettstrekket} \quad (2.26)$$

$$K_{\text{T}} = 0.1 \quad \text{hvis} \quad \text{strømmingen går fra grenrøret, og inn på rettstrekket} \quad (2.27)$$

hvor Q_1 er volumstrømmen i grenrøret i forhold til volumstrømmen i rettstrekket.

Sanitær

Når rørene til forbruksvann skal dimensjoneres, vil programmet også beregne den samtidige vannmengden. Den beregnes ved hjelp av samme metode som beskrevet i kapittel 2.2, altså ligning (2.8). Hvis et bygg har installasjoner som gjør at det ikke er rimelig å beregne samtidigheten etter ligning (2.8), er det mulig å benytte en funksjon for å manuelt sette samtidighet for valgte deler av systemet. Da vil samtidigheten beregnes etter formelen:

$$K_{\text{sim}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{sum}}} \quad (2.28)$$

hvor K_{sim} er samtidighetsfaktoren.

Hvis det installeres en sirkulasjonsledning, vil MagiCAD automatisk beregne volumstrømmen i returledningen, og som standard, benytte en metode utviklet av CIPHE (Chartered Institute of Plumbing and Heating Engineering) (MagiCAD, 2018). Det er imidlertid mulig velge hvilken metode som skal benyttes til å beregne volumstrømmen, eller om volumstrømmen skal være brukerdefinert, men ingen av metodene tilgjengelig er basert på det norske regelverket.

MagiCAD tilbyr ingen funksjoner for dimensjonering av størrelsene til avløpsrør, men har en funksjon for beregning av volumstrømmen i avløpsrørene. Spillvannsmengdene som benyttes for å beregne volumstrømmen hentes fra hver enkelt installasjon, og benyttes da til å beregne den dimensjonerende volumstrømmen ved hjelp av formelen:

$$(2.29)$$

hvor f er en frekvensfaktor for hvor ofte installasjonene brukes og $\sum V$ er summen av spillvannsmengdene fra installasjonene i bygget. Frekvensfaktoren er bestemt ut ifra hva bygget brukes til, da det er en av parameterne som må bestemmes før beregningen kan utføres (MagiCAD, 2018). Alternativene som presenteres i programmet for valg av frekvensfaktor er beskrevet i Tabell 2.3.

Tabell 2.3. Frekvensfaktorer for samtidighetsberegning.

Hyppighet av bruk	Eksempel	Frekvensfaktor
Uregelmessig bruk	Bolig, kontor	0,5
Hyppig bruk	Sykehus, skole, restaurant, hotell	0,7
Belastende bruk	Toaletter og/eller dusjer tilgjengelig for offentligheten	1,0
Spesiell bruk	Laboratorium	1,2

Varme

Dimensjoneringen av varmerør gjøres på samme grunnlaget som er beskrevet tidligere i oppgaven, men det er også mulig å gjøre både trykktapsberegning og balansering av varmenettet. Det er to metoder for hvordan trykktapet over hver komponent skal beregnes, og dermed den nødvendige pumpeeffekten for å sirkulere vannet. Den ene metoden går ut på at det bestemmes at det skal være 5 kPa trykkfall over radiatorventilene, og 3 kPa trykkfall over reguleringsventilene. Den andre metoden går ut på at det skal være 3 kPa trykkfall over både radiator- og reguleringsventilene. Da vil det beregnes friksjonstap per meter rør og totalt trykktap over hver enkelt del, samt at det beregnes en K-faktor for hvert bend, forgrening og tverrsnittsendring i rørnettet.

Det er mulig å gjøre en balansering av systemet for å påse at alle radiatorer får tilført like mye varme, og at alle rommene i bygget blir varmet opp likt. Det kan gjøres med utgangspunkt i de to samme metodene som for trykktapsberegning. Beregningene kan deretter baseres på tre ulike scenarioer. Det første er at hele anlegget balanseres til det minste trykket som er nødvendig for å forsyne alle installasjonene med den nødvendige vannmengden. Den andre muligheten er å balansere systemet etter pumpetrykket, mens den tredje muligheten er å balansere systemet etter et inntakstrykk som defineres av brukeren.

Det er verdt å merke at MagiCAD er en modul som spesifikt omhandler VVS-anlegget, og kan derfor ikke gjøre beregninger for et byggs energiytelse og varmetap. Dermed vil det være nødvendig å manuelt definere effektbehovet til varmeinstallasjonene, som bestemmer volumstrømmen.

2.5.2 Ventilasjon

MagiCAD har også en funksjon for å beregne dimensjonene på ventilasjonskanalene. Da vil Revit-modellen automatisk justeres til de beregnede dimensjonene. I utgangspunktet er det to forskjellige metoder som kan benyttes til disse beregningene. Dimensjonene kan beregnes ut ifra et maksimalt tillatt trykkfall på 1 Pa/m, eller en maksimal lufthastighet på 3 m/s. Som beskrevet i kapittel 2.4, vil enten trykkfallet eller lufthastigheten i kombinasjon med luftmengdene i kanalene være tilstrekkelig grunnlag for å dimensjonere kanalene. Det er imidlertid ingen muligheter for å beregne luftmengdebehovet til bygget i MagiCAD, og dette må dermed gjøres manuelt.

Det er også mulig å gjøre trykktapsberegninger for ventilasjonskanaler. Da finnes det to forskjellige metoder for hvordan det gjøres. Det ene metoden er at trykktapsberegningen gjøres ved å bestemme at det totale trykktapet over ventiler og reguleringssjeld ikke har en nedre grense. Den andre metoden går ut på det totale trykktapet over ventiler og reguleringssjeld skal være minimum 10 Pa. Det betyr i praksis at det totale trykktapet for hver ventil og sjeld automatisk justeres opp til 10 Pa, med mindre det allerede er større. Dermed vil det totale trykknivået som MagiCAD beregner må være ut av aggregatet, bli større hvis det ikke var satt en grenseverdi. Ved å gjøre trykktapsberegningen, vil programmet beregne det totale trykktapet og det totale trykket for hver enkelt komponent. I tillegg vil det beregne friksjonstapet og det statiske trykket i kanalene. Balansering av ventilasjonsanlegget bruker de samme metodene som grunnlag.

Friksjonstap

Friksjonstapet i kanalene beregnes med samme metode som beskrevet i kapittel 2.1, altså ligning (2.3), samt Colebrooks formel, ligning (2.6), for å bestemme friksjonstallet. Det er kun mulig å finne friksjonstallet ved hjelp av iterasjon dersom Colebrooks formel skal benyttes (Ingebrigtsen, 2019). Hvis løsningen av Colebrooks formel ikke konvergerer til en verdi, benyttes formelen:

$$\text{---} \text{---} \tag{2.30}$$

Denne formelen er en tilnærmet formel og vil ikke gi like nøyaktige resultater som Colebrooks formel, men resultatene vil likevel være av tilfredsstillende nøyaktighet for formålet (MagiCAD, 2018). Ettersom ligning (2.30) er basert på Colebrooks formel, vil den kun gjelde for turbulent strømning.

Støttap

Trykktapet som oppstår i komponentene i ventilasjonsanlegget beregnes i de aller fleste tilfeller ved hjelp av en rekke formler. Trykktapet i tillufts- og avtrekksventiler beregnes imidlertid ut ifra informasjon som produsentene av ventiltypene har lagt inn.

Ved beregning av trykktap i sirkulære bend, gjøres det ved hjelp av ligninger som baseres på trykktapsdiagrammene i Lindabs produktdatablader. Det betyr at beregningene knyttet til bend vil være produktspesifikke. Hvis bendene har en diameter på mer enn 250 mm, vil bendet ansees som segmentert, og trykktapet vil beregnes deretter.

Tverrsnittsendring

Når en kanal har en dimensjonsendring i tverrsnittet, vil det også oppstå et trykktap. Dette trykktapet beregnes etter formlene:

for tverrsnittsreduksjon (2.31)

for tverrsnittøkning (2.32)

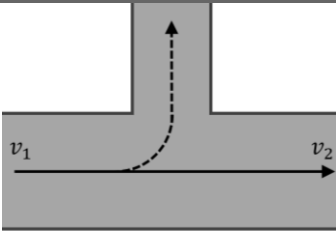
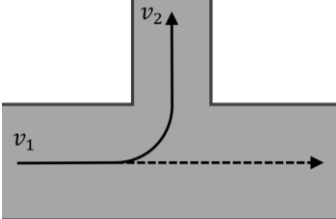
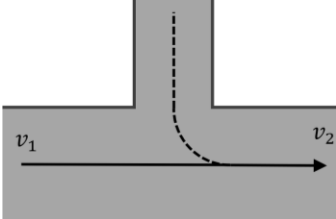
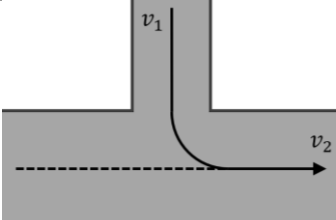
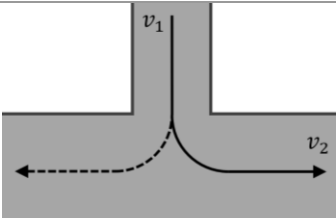
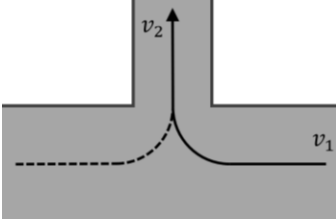
hvor v_1 er lufthastigheten før tverrsnittsendringen og v_2 er lufthastigheten etter tverrsnittsendringen.

T-kanaler

For å beregne trykktapet i T-kanaler, bruker MagiCAD en rekke forskjellige formler, avhengig av om det er tilluft eller avtrekk. Alle formlene benytter seg av hastighetene som beregnes i kanalene før og etter forgreningen hvor v_1 er hastigheten før T-kanalen, og v_2 er hastigheten etter. Formlene skilles fra hverandre på grunnlag av strømningsretningen i kanalen, og hvilke grener som skal undersøkes. Tabell 2.4 gir en oversikt over hvilke formler som brukes ut ifra luftstrømmen i T-kanalen for det aktuelle tilfellet. Figurene i tabellen gir en forklaring på strømningsmønsteret i T-kanalen for den tilhørende formelen, hvor den heltrukne linjen er strømmingen som formelen gjelder for, mens den stiplede linjen viser hvordan luftstrømmen splittes eller samles for det enkelte tilfellet.

Formlene benyttet i trykkfallsberegningene for T-kanalene, er utarbeidet ved hjelp av kurvetilpasning i forhold til Fläkt Groups diagrammer for trykkfall i T-kanaler (MagiCAD, 2018). Formlene tar høyde for eventuelle tverrsnittsendringer som forekommer i T-kanalene, da diagrammene er utviklet for å inkludere tilfeller hvor dimensjonene på tverrsnittet endres (Fläkt Group, 2023). Resultatene av beregningene er dermed produktspesifikke, og vil ikke nødvendigvis være helt nøyaktige hvis det benyttes andre kanaltyper.

Tabell 2.4. Formler for beregning av trykktap i forhold til hvordan luften strømmer i en T-kanal (MagiCAD, 2018).

Formel	Figur
<p style="text-align: center;">hvor</p>	
	
	
<p style="text-align: center;">hvor</p>	
<p style="text-align: center;">hvis hvis</p>	
<p style="text-align: center;">hvor</p>	

For andre forgreninger hvor vinkelen mellom grenene ikke er rett, benytter MagiCAD en tabell som tar høyde for vinkelen, samt forholdet mellom lufthastighetene i hver gren av kanalen. Hvis vinkler og hastigheter ikke treffer nøyaktig på verdiene oppgitt i tabellen, er det mulig å lineært interpolere (MagiCAD, 2018).

Fordelingskammer

Det vil også oppstå et trykktap når luften går fra en kanal og inn til et fordelingskammer. For å kalkulere dette tapet, benytter MagiCAD formelen:

(2.33)

Tabell 2.5. Formler for støttapskoeffisienter for luft inn i fordelingskammer (MagiCAD, 2018).

Nr.	Ligning	Forutsetning
2.34	—	—
2.35	—	—
2.36	— —	—
2.37	— —	

Tabell 2.5 gir en oversikt over hvordan støttapskoeffisientene er beregnet for fordelingskammer, og forutsetningene for hvordan formel som skal benyttes for det enkelte tilfellet. er arealet av den siden av fordelingskammeret hvor kanalen er koblet på, er tverrsnittsarealet av kanalen.

Trykktapet som oppstår når luften går i motsatt retning, altså fra fordelingskammeret og inn i kanalen, beregnes også etter ligning (2.33), men støttapskoeffisientene vil beregnes annerledes. Den beregnes etter formlene:

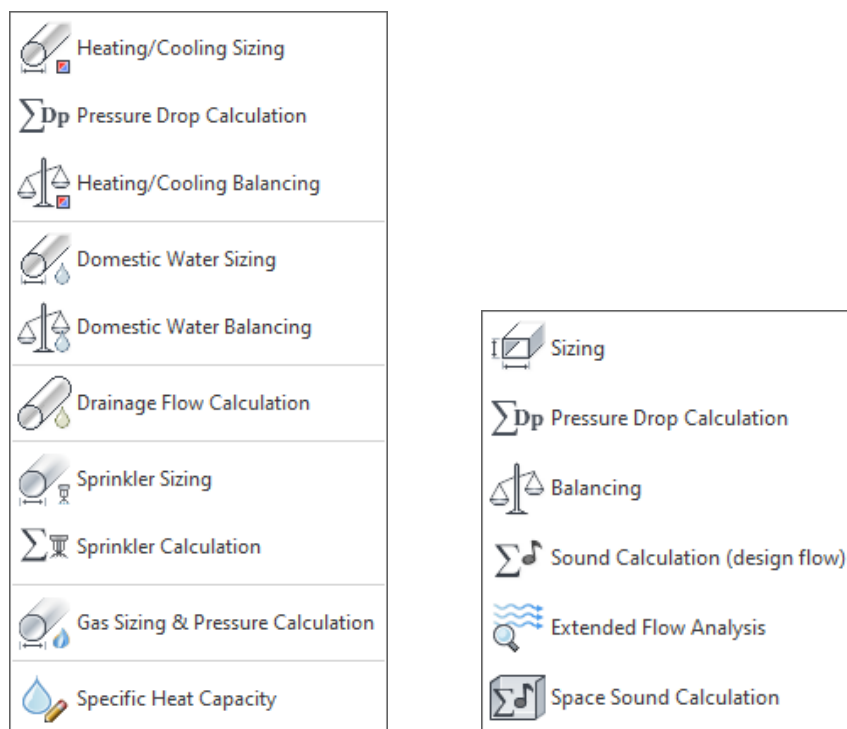
$$\text{—} \quad \text{for sirkulære kanaler} \quad (2.38)$$

$$\text{—} \quad \text{for rektangulære kanaler} \quad (2.39)$$

3 Metode

Opggaven gjennomføres ved å gjøre en komparativ studie av to forskjellige beregningsmetoder for VVS-prosjektering. Hovedfokuset vil være å evaluere og sammenligne påliteligheten og nøyaktigheten av de respektive metodene, og det vil derfor gjøres en kvantitativ analyse av resultatene. Det er imidlertid også naturlig å gjøre en kvalitativ analyse av brukervennligheten til beregningsverktøyene. Det vil omfatte en subjektiv vurdering av hvorvidt verktøyet er intuitivt og brukervennlig, og til den grad mulig, avgjøre hvorvidt verktøyet kan bidra til å forenkle arbeidet og redusere arbeidsmengden. Dette vil være avgjørende for å forstå anvendeligheten til verktøyet i reelle prosjekter.

Sammenligningen av de forskjellige beregningsmetodene baseres på en eksisterende tredimensjonal modell, utarbeidet for et reelt prosjekt. Dette innebærer at de tradisjonelle beregningene for dimensjoneringen av bygget allerede er foretatt, og VVS-systemet allerede er tegnet inn i modellen. Ved å gjennomføre en dimensjonering på modellen, vil det være mulig å identifisere hvilke eventuelle avvik som dukker opp mellom de forskjellige modellene. Skulle det vise seg at beregningene i MagiCAD gir et annet resultat enn det de tradisjonelle beregningsmetodene gir, indikeres det ved at det vil gjøres en justering av dimensjonene på systemet. Ettersom 3D-modellen som benyttes i undersøkelsene allerede er laget, er det viktig å anerkjenne at det ikke er tatt forbehold for at det skal kunne gjøres beregninger på modellen da den ble laget. Det kan medføre at det oppstår utfordringer knyttet til modellens kompatibilitet med beregningsverktøyene som vil kreve modifikasjoner for å sikre at beregningene er gjennomførbare.



Figur 3.1. Beregningsfunksjonene i MagiCAD for henholdsvis rør og ventilasjon.

MagiCAD er utstyrt med en rekke forskjellige beregningsfunksjoner, som varierer avhengig av hvilket system det skal gjøres beregninger for. For sanitæranlegget er det mulig å gjøre både en dimensjonering og en balansering av varmt- og kaldtvannsrørene, samt en beregning av volumstrømmen i avløpsrør. For varmesystem og ventilasjonskanaler er det mulig å dimensjonere, balansere og gjøre trykktapsberegninger av systemene, i tillegg til at det kan gjøres lyd kalkulasjoner for ventilasjonsanlegget. Foruten om lyd kalkulasjonene, er det hensiktsmessig å gjennomføre alle disse forskjellige formene for beregninger, slik at det er mulig å avdekke hvilke parametere som må

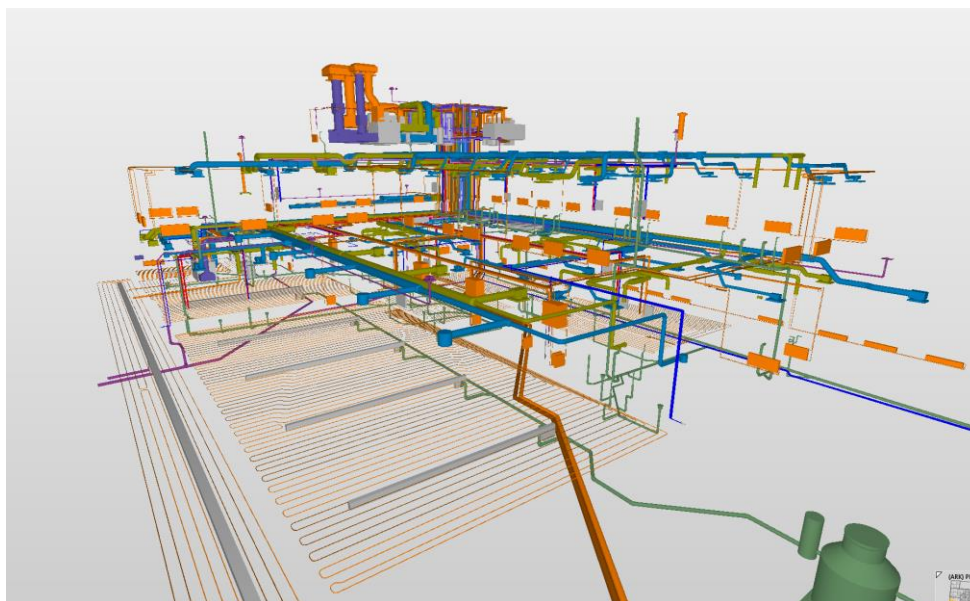
ligge til grunn, samt andre eventuelle forhold som må tas hensyn til for å kunne fullføre beregningene. En slik tilnærming vil bidra til å bringe en helhetlig forståelse av hvordan beregningsverktøyet fungerer, og sikre at alle relevante aspekter blir tatt til betraktning. En full oversikt over alle mulighetene for å gjøre beregninger i MagiCAD vises i Figur 3.1.

3.1 Beskrivelse av test-case



Figur 3.2. Modell av ambulansestasjonen som brukes som beregningsgrunnlag.

Modellen som det tas utgangspunkt i for beregningene er en ambulansestasjon med tre etasjer, hvor Figur 3.2 viser arkitektmodellen av det aktuelle bygget. Den nederste etasjen, plan U1, består av garasje, vaskehall, dekontamineringsrom, garderober og gymsal, i tillegg til flere lagerrom og tekniske rom. Den andre etasjen, plan 1, inneholder overnattingsrom, kontorer og andre personalrom som dagligstue, møterom og kjøkken. Den øverste etasjen, plan 2, er et teknisk rom, hvor mange av de tekniske VVS-installasjonene er plassert.



Figur 3.3. Modell av VVS-anlegget i ambulansestasjonen.

Figur 3.3 viser en 3D-modell av VVS-anlegget i bygget, og danner en oversikt over omfanget av VVS-anlegget. Sanitæranlegget består av kaldt- og varmtvannsledninger, samt en sirkulasjonsledning. Modellen inneholder ikke tappesteder, men det er modellert inn fordelerskap med reelle verdier for vannforbruket, i tillegg til brannskap. Varmeanlegget består i all hovedsak av radiatorer med et bestemt effektbehov, og en nødvendig volumstrøm for å oppnå gitt effekt, samt distribusjonssystemet for varmtvannet. Modellen har to forskjellige varmesystemer, ett for plan U1, og ett for plan 1. Komponentene for varme- og sanitæranlegget består i hovedsak av bend, overganger og ventiler. Ventilasjonssystemet består av tre forskjellige aggregater, hvor hvert aggregat betjener hver sin del av bygget. Det er ett aggregat for garasjen, vaskehallen og tilhørende fasiliteter, mens ett av aggregatene betjener dekontamineringsområdet, og det siste aggregatet betjener de resterende delene av bygget. For ventilasjonssystemet består komponentene som er brukt, i hovedsak av bend, overganger, ventilasjonsaggregater, lydfeller, spjeld, samt ventiler for både tilluft, avtrekk, inntak og avkast.

3.2 Dimensjoneringsmetode i MagiCAD

Som det kommer frem i kapittel 2.5, finnes det flere metoder som kan benyttes for dimensjonering av VVS-systemene i MagiCAD. Hvilken metode som velges er avhengig av hvorvidt det er varme- ventilasjon- eller sanitæranlegget som skal dimensjoneres. Figur 3.4 til 3.6 gir en oversikt over hvilke inngangsparametere som benyttes til dimensjoneringene for henholdsvis sanitær-, varme- og ventilasjonssystemet.

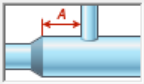
Figur 3.4. Parameterne valgt for dimensjonering av sanitæranlegget.

Sanitæranlegget dimensjoneres ved bruk av to forskjellige metoder. Som Figur 3.4 viser, vil rørledningene for kaldt- og varmtvanns dimensjoneres i henhold til *Dimensjoneringsmetode for KV/VV*, hvilket i praksis betyr at makshastigheten for vannstrømmen settes til 2 m/s. Returledningen for sirkulasjonsvannet dimensjoneres etter *Dimensjoneringsmetode for VVC*, som betyr at makshastigheten settes til 0,5 m/s. I tillegg settes omgivelsestemperaturen, som er en avgjørende faktor for det beregnede varmetapet i rørene, til 10 °C. Det er fordi dette er standardverdien som programmet foreslår, og dermed unngås det å måtte korrigere verdien for hvert enkelt beregningsforsøk. I tillegg settes den største tillatte ventetiden til 10 sekunder, som er innenfor den anbefalte ventetiden beskrevet i kapittel 2.2. Hverken omgivelsestemperaturen eller ventetiden vil ha en direkte innvirkning på dimensjoneringen, og det er derfor ikke kritisk at verdiene er nøyaktige i forhold til de virkelige omstendighetene.

Sizing Options

Calculation range
 Branch
 Network

Sizing method
 Use pre-assigned sizing method (or default to below method if not defined)
 Maks. trykfall 150 Pa/m

Tapped pipes
 Automatically insert/remove splits to allow sizing of tapped pipes
 Min distance A: mm

Heat losses
 Ambient temperature outside pipes °C
 Use space temperature
 Warn if temperature decreases more than °C

OK Cancel

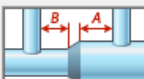
Figur 3.5. Parameterne valgt for dimensjonering av varmesystemene.

Figur 3.5 viser at dimensjoneringen av varmerørene tar utgangspunkt i at trykktapet ikke skal overskride 150 Pa/m. Der er settet også omgivelsestemperaturen til 10 °C, samt at det er mulig å bestemme hvor mange grader temperaturen i rørene kan falle før det gis en advarsel i den resulterende rapporten.

Sizing Options

Calculation range
 Branch
 Network

Sizing method
 Use pre-assigned sizing method (or default to below method if not defined)
 Maks. trykfall 1 Pa/m

Tapped ducts
 Automatically insert/remove splits to allow sizing of tapped ducts
 Min distance A: mm
 Min distance B: mm

Rectangular duct
 Maximum width
 Maximum height

OK Cancel

Figur 3.6. Parameterne valgt for dimensjonering av ventilasjonssystemet.

For dimensjoneringen av ventilasjonssystemet er det, som vist på Figur 3.6, mest hensiktsmessig å velge beregningsmetoden som baserer seg på prinsippet om at trykkfallet i ventilasjonskanalene ikke skal overskride 1 Pa/m.

4 Resultat

Dimensjoneringen av ventilasjonskanalene, samt både varme- og sanitærrørene i modellen viste at programmet ville endre tverrsnittet på deler av systemene. Ettersom de tradisjonelle metodene ble brukt under dimensjonering av VVS-systemet i modellen, kunne eventuelle dimensjonsendringer foreslått av MagiCAD, direkte sammenlignes med dimensjonene allerede i modellen, og dermed peke på potensielle forskjeller mellom metodene. Tabell 4.1 gir en oversikt over deler av resultatet for dimensjoneringen av varmesystemet. For den utvalgte grenen av systemet, foreslår MagiCAD en reduksjon fra 15 mm til 12 mm diameter for rørene, og beregner hastigheten og varmetapet ut ifra de dimensjonene som er foreslått av programmet.

Tabell 4.1. Utsnitt av rapporten etter dimensjonering av varmesystemet.

Level	Node	Type	Size	Old size	L [m]	qv [l/s]	v [m/s]	T [°C]	Q [W]	dp/L [Pa/m]	Sizing method
Plan U1	9	BRANCH	32/16	32/15		0,11664	0,22				
Plan U1		REDUCER	16/12			0,0071	0,06				
Plan U1		PIPE	12	15	0,1	0,0071	0,1	49,9	2	18,7	150Pa/m
Plan U1		STOPVALVE	10	15		0,0071					
Plan U1		PIPE	12	15	0,3	0,0071	0,1	49,9	5,2	18,7	150Pa/m
Plan U1		BEND-90	12	15		0,0071	0,1				
Plan U1		PIPE	12	15	0,2	0,0071	0,1	49,7	2,7	18,7	150Pa/m
Plan U1		BEND-90	12	15		0,0071	0,1				
Plan U1		PIPE	12	15	0,4	0,0071	0,1	49,6	5,6	18,7	150Pa/m
Plan U1	10	ZONE VALVE	10			0,0071					
Plan U1		PIPE	12	15	0,1	0,0071	0,1	49,4	1,4	18,7	150Pa/m
Plan U1		BEND-90	12	15		0,0071	0,1				
Plan U1		PIPE	12	15	3,3	0,0071	0,1	49,3	49,2	18,7	150Pa/m
Plan U1		REDUCER	16/12			0,0071	0,1				
Plan U1		BEND-90	16	15		0,0071	0,06				
Plan U1		PIPE	16		0,4	0,0071	0,06	47,6	6,5	7,7	150Pa/m
Plan U1		REDUCER	16/15			0,0071	0,06				
Plan U1		BEND-90	15			0,0071	0,06				
Plan U1		PIPE	15		0,5	0,0071	0,06	47,4	8,8	6,3	150Pa/m
Plan U1		BEND-90	15			0,0071	0,06				
Plan U1		PIPE	15		0,1	0,0071	0,06	47,1	0,9	6,3	150Pa/m
Plan U1	11	HEATING: RADIATOR	15			0,0071		47,1			

Tabell 4.2 beskriver hvor stort antall av rør, kanaler, bend, T-rør og overganger det forekommer en dimensjonsendring på. Dataene som omhandler ventilasjon, tar utgangspunkt i ventilasjonssystemene som det ble gjort beregninger på, altså ventilasjonssystemet for garasje, vaskehall og tilhørende fasiliteter, samt ventilasjonssystemet for dekontamineringsområdet. Disse to ventilasjonssystemene kombineres ettersom det vil gjøre resultatene mer representative av de faktiske forholdene hvis det tas utgangspunkt i en større mengde data. For varmeanlegget er systemene også kombinert i tabellen, da det er ett system hver for plan U1 og plan 1.

Tabell 4.2. Oversikt over resultatene fra beregningene.

System	Totalt antall komponenter	Antall endringer	Prosent
Sanitær			
Kaldtvann	497	257	52%
Varmtvann	376	220	59%
Sirkulasjonsledning	138	115	83%
Totalt	1011	592	59%
Varme			
Tur	954	255	27%
Retur	871	213	24%
Totalt	1825	468	26%
Ventilasjon			
Tilluft	185	61	33%
Avtrekk	178	62	35%
Inntak	17	2	12%
Avkast	24	7	29%
Totalt	404	132	33%

Dataene representerer alle komponentene i systemene, og dermed vil bend og overganger også telles som en endring så lenge rørene de er koblet til også endrer på dimensjonene. Andelen bend og overganger i systemene er ikke gitt i Tabell 4.2, men blir diskutert senere.

For å kunne gjennomføre beregningene på modellen måtte det gjøres en rekke endringer på modellen. Det var i all hovedsak justering av selve rørene og kanalene som måtte gjøres slik at hele systemet var koblet sammen. I tillegg var det viktig at alle rørene/kanalene var koblet til de relevante installasjonene, eksempelvis radiatorer, ventilasjonsaggregat eller tappesteder. For sanitæranlegget var det viktig å legge inn de reelle vannmengdene for hvert enkelt fordelerskap som rørene koblet til, og sette inn tappesteder der hvor det var nødvendig. Ventilasjonsanlegget måtte kobles riktig til ventilasjonsaggregatet, samt alle tillufts- og avtrekksventilene. På den måten ble alle beregningene for ventilasjonssystemet gjort på en gang, fremfor at det måtte gjøres én beregning hver, for inntak, avkast, tilluft og avtrekk. Varmesystemet trenger imidlertid kun å være koblet til radiatorer for å gjøre beregninger for både tur- og retursystemet.

Resultatene presentert så langt tar utgangspunkt i alle komponentene i modellen. Det kan også være av interesse å se på hvordan resultatet blir, hvis det kun tas høyde for selve rørene og kanalene. Da filtreres alle bendene, overgangene og andre komponenter bort, slik at de ikke påvirker resultatet. Det kan være av interesse, da det kan være flere komponenter som kun justeres fordi rørene eller kanalene de er koblet til endres. Dermed kan det å ekskludere disse komponentene fra datagrunnlaget bidra til å gi et mer nøyaktig bilde av hvor mye av anlegget som er under- eller overdimensjonert når de tradisjonelle beregningsmetodene er lagt til grunn.

Tabell 4.3. Oversikt over resultatene fra beregningene når kun rør og kanaler inkluderes.

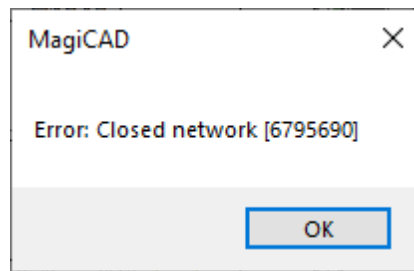
System	Totalt antall rør/kanaler	Antall endringer	Prosent
Sanitær			
Kaldtvann	233	123	53%
Varmtvann	177	103	58%
Sirkulasjonsledning	71	57	80%
Totalt	481	283	59%
Varme			
Tur	428	97	23%
Retur	389	78	20%
Totalt	817	175	21%
Ventilasjon			
Tilluft	82	28	34%
Avtrekk	80	30	38%
Inntak	7	1	14%
Avkast	10	3	30%
Totalt	179	62	35%

Resultatene for beregningene når det kun tas høyde for rør og kanaler, viser at det er forholdsvis liten forskjell i prosentandelene i forhold til resultatene når alle komponenter inkluderes i beregningene. For sanitærsystemet, forblir forholdet mellom antallet rør og antallet endringer lik. Varmesystemet har en liten reduksjon i prosentandelen endringer, mens ventilasjonssystemet har en større andel endringer når kun kanalene legges som beregningsgrunnlag.

4.1 Grunnlag for å gjennomføre beregningene

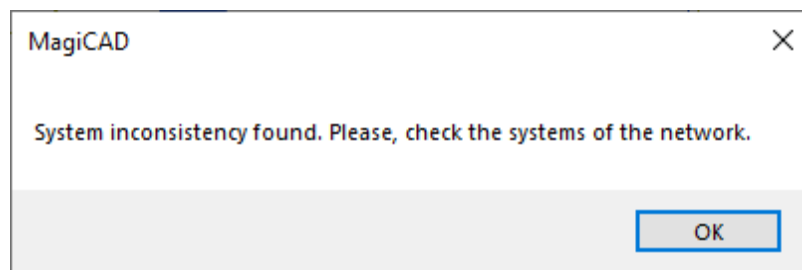
For å kunne gjennomføre VVS-beregninger i MagiCAD er det flere forbehold som må tas. Noen av forbeholdene er spesifikke for enten varme-, ventilasjon- eller sanitæranlegget, men programmet stiller også krav som gjelder for alle fagene.

For både varme-, ventilasjons- og sanitæranlegget vil det være krav om at det ikke er et såkalt «Closed Network». Det betyr at systemene må ha én åpen ende for å kunne bestemme strømningsretningen. For ventilasjonsanlegget er alternativet til å kun ha én åpen ende i systemet, at systemet heller kobles til et ventilasjonsaggregat. Å koble varmeanlegget til en energikilde vil ha samme effekt, men sanitæranlegget vil alltid ha behov for en åpen ende, da kaldtvannet må komme fra et sted. For at disse alternativene skal fungere, må naturligvis alle rørene lede til en installasjon med et spesifisert forbruk av enten vann eller luft.



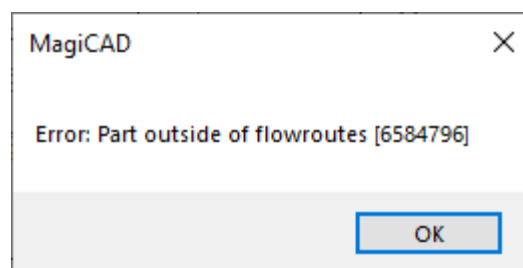
Figur 4.1. Feilmelding som følge av "Closed network".

Et annet krav som gjelder for alle de forskjellige fagene, er at det ikke kan være en såkalt «System inconsistency». Det betyr at rør eller kanaler er koblet sammen selv om de ikke tilhører det samme systemet. Det kan for eksempel være at et kaldtvannsrør er koblet til et varmtvannsrør, eller hvis et bygg har flere enn ett ventilasjonsaggregat, og det dermed er flere forskjellige systemer for det aktuelle fagfeltet. Da kan deler av kanalnettet eller ventilene være satt til feil system, noe som fører til en feilmelding.



Figur 4.2. Feilmelding når komponenter er koblet til feil system.

Hvis det er brudd i koblingene mellom rørene eller kanalene, men de er koblet til riktig system, vil det medføre at programmet ikke kan kalkulere volumstrømmen i de aktuelle rørene. Da vil feilmeldingen «Parts outside flowroutes» komme. Denne feilmeldingen kommer som et resultat av at det enten er flere åpne ender, eller at deler av systemet ikke er koblet riktig til resten. Programmet er i stand til å generere en rapport med en oversikt over hvilke deler av systemet som det ikke kan beregnes volumstrøm for, og dermed bidra til å avgjøre hvor feilen ligger. Rapporten vil da gi en oversikt over hver enkelt komponent som programmet ikke kan beregne volumstrøm for. Det betyr at i et stort system, kan det være et stort antall komponenter i rapporten, selv om bare én av dem er årsaken til feilmeldingen.



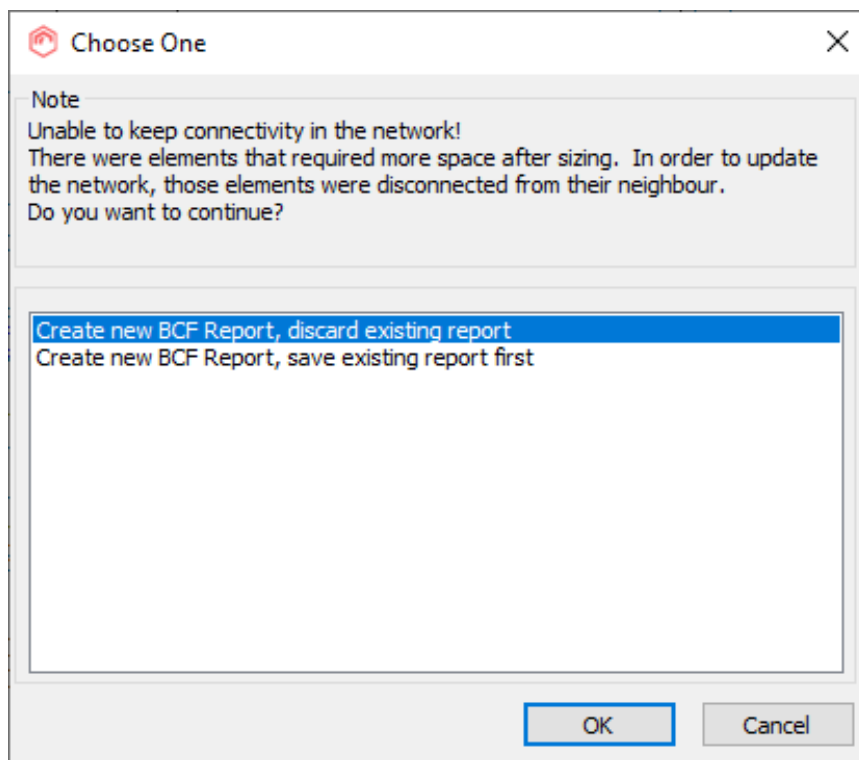
Figur 4.3. Feilmelding når deler av systemet ikke er koblet til riktig.

4.1.1 Sanitær

For å kunne gjennomføre en beregning på et sanitæranlegg må alle ledningene være koblet til sine respektive installasjoner. Det er fordi installasjonene bestemmer hvor stor volumstrømmen i rørene vil være. For mange av sanitærinstallasjonene, er det spesifisert for hvert produkt hvilke vannmengder

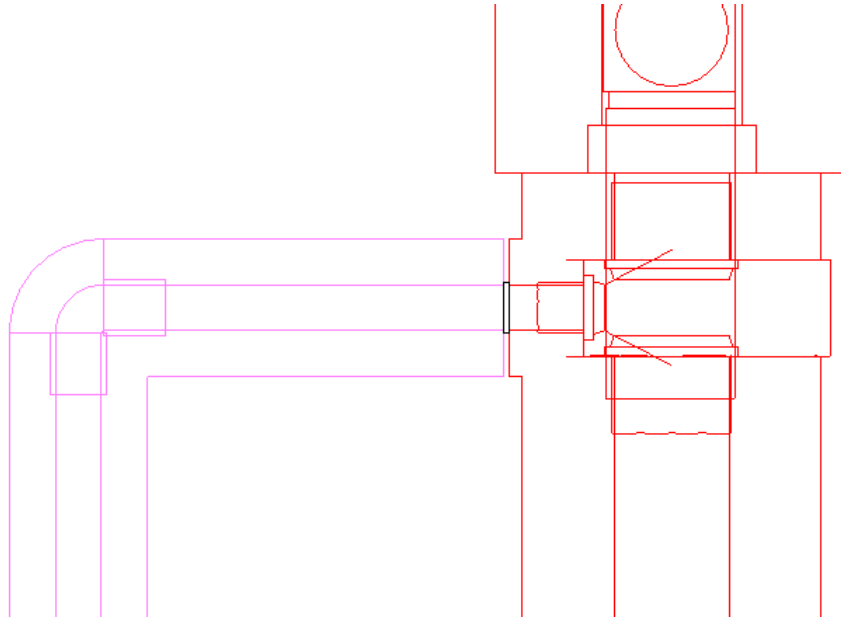
som kreves, og disse vil i de fleste tilfeller samsvare med verdiene presentert i Tabell 2.1. Hvis det ikke er aktuelt å modellere inn alle installasjonene, er det mulig benytte fordelerskap, hvor vannmengdene kan defineres av brukeren, men det vil naturligvis ikke alltid representere den virkelige situasjonen.

For å gjøre beregningene gjennomførbare, vil det være hensiktsmessig å velge en fleksibel rørtype til bruk i modellen, hvor det er lastet inn bend og overganger mellom forskjellige dimensjoner som er tilpasset de forskjellige rørdimensjonene som benyttes i prosjektet. Etter at beregningene er gjort, og dimensjonsendringene skal oppdateres til modellen, kan rørene kobles fra hverandre hvis det ikke er lastet inn overganger og bend som er egnet til å koble de nye dimensjonene sammen. Eksempel på en slik feilmelding vises i Figur 4.4. Da vil det bli behov for å gå gjennom hele modellen manuelt for å reparere alle problemene som oppstår. Dette problemet kan også forekomme på deler av anlegget hvor det ikke er tilstrekkelig plass til å endre dimensjonene, eksempelvis hvis et bend blir for kort i forhold til de dimensjonene som kreves.



Figur 4.4. Dialogboks når systemet kobles fra hverandre.

Hvis et anlegg inneholder en sirkulasjonsledning, må det benyttes en funksjon som heter «Domestic Hot Water Return Circulation Point». Det er en funksjon som gjør at det kan legges inn et punkt på varmtvannsledningen der hvor returen på sirkulasjonsledningen starter. Da vil det dannes et nytt system for kun returledningen, slik vist i Figur 4.5, hvor røret for varmt forbruksvann er markert i rødt, mens returledningen for sirkulasjonsvannet er markert i rosa. På spesielt store systemer, hvor sirkulasjonsledningen består av flere grener, er det nødvendig å legge inn skillepunktene fortløpende. Hvis begge grenene i skillepunktet leder til en installasjon, vil det medføre at det ikke er mulig å danne dette punktet. Derfor å skillepunktene legges inn før alle grenene på sirkulasjonsledningen kobles sammen.



Figur 4.5. Kobling mellom sirkulasjonsledning og varmtvannsledning som tillater beregninger.

Før beregningene gjennomføres må det bestemmes en verdi for hvor lang ventetiden for varmtvann kan være. Den er i utgangspunktet satt til 10 sekunder, noe som medfører at alle tappestedene med mer enn 10 sekunders ventetid vil bli markert i rapporten. Det er imidlertid mulig for brukeren å avgjøre selv hvorvidt den største tillatte ventetiden skal avvike fra dette.

4.1.2 Varme

For å kunne gjennomføre en komplett dimensjonering, trykktapsberegning eller balansering av varmesystemet, er det nødvendig at både tur- og returledningene er koblet til alle installasjoner de skal være koblet til. Turledningen kan imidlertid starte med en åpen ende, og returledningen kan avsluttes med en åpen ende. Så lenge begge systemene er koblet til en varmeinstallasjon, vil programmet oppfatte hvilken vei strømningsretningen går. Det er også viktig at alle installasjonene har en angitt verdi på hvor store vannmengder som kreves for å gi ønsket effekt.

For varmeanlegget er det også fornuftig å bruke en rørtype som er fleksibel når det kommer til overganger og bend. Hvis ikke vil det oppstå lignende problemer med varmesystemet som det oppstår for sanitærsystemet, altså at rørr nettet ikke henger sammen etter dimensjonering.

Hvis det skulle være nødvendig å benytte T-rør i stedet for bend i deler av anlegget, er det viktig at den åpne enden i T-røret lukkes med en plugg. En åpen ende vil medføre at beregningene ikke kan gjennomføres og programmet vil varsle om en feil med et T-rør.

Det må også bestemmes en temperatur på omgivelsene, slik at varmetapet i rørene beregnes. I rapporten som skrives ut etter at det er gjort beregninger, vil det lages en oversikt over hvor høy temperaturen er gjennom hele systemet. Temperaturen på utsiden av rørene er i utgangspunktet satt til å være 10 °C, men kan justeres ut ifra hva prosjektet krever.

4.1.3 Ventilasjon

For å gjennomføre beregninger på ventilasjonsanlegget er det nødvendig å manuelt legge inn luftmengden som hver enkelt ventil i systemet krever. Det gjelder både for tilluft, avtrekk, inntak og avkast. Beregningene kan gjøres selv om det mangler luftmengdeverdier på ventiler, men da vil det ikke gjøres beregninger for den aktuelle grenen, og dimensjonene på resten av systemet vil ikke være

reelle. Tabell 4.4 viser et tilfelle hvor det ikke er satt luftmengder på inntaksventilen, og da beregnes kun luftmengdene i ventilasjonsaggregatet, og ikke i resten av systemet. Det medfører at hverken luftmengdene, hastigheten eller trykktapet tas til følge under dimensjoneringen av kanalene. Dermed vil endringene som foreslås, være et resultat av at MagiCAD forsøker å holde kanaldimensjonene kontinuerlig for grenen.

Tabell 4.4. Rapporten for dimensjonering av inntak.

Level	Node	Size	Old size	L [m]	qv [m ³ /h]	v [m/s]	dp/L [Pa/m]	Sizing method	Warnings
Plan 2	1				3345				
Plan 2		900x450/500x500							
Plan 2		500x500	900x450	0				1 Pa/m	
Plan 2		500x500	450x900						
Plan 2		500x500	450x900	0,5				1 Pa/m	
Plan 2		500x500/500	450x900/500						
Plan 2		500		0,2				1 Pa/m	
Plan 2		500							
Plan 2		500		0,3				1 Pa/m	
Plan 2		500							
Plan 2		500		1				1 Pa/m	
Plan 2	2	500							

Også for ventilasjonsanlegget er det nødvendig å stenge eventuelle åpne ender hvis det er nødvendig å benytte T-kanaler i stedet for vanlige bend. På samme måte som for rørsystemer, vil programmet lokalisere problemet og be om at det løses før beregningen kan gjennomføres.

Hvis det er ønskelig å gjennomføre en beregning som tar både tilluft, avtrekk, inntak og avkast samtidig, må alle systemene være koblet til samme ventilasjonsaggregat. Det medfører at det ikke er nødvendig å gjennomføre like mange beregninger, og det vil være enklere å sammenligne resultatene for hvert enkelt system.

Når dimensjonene på kanalene justeres, vil det ikke gjøres endringer på kanaler som er koblet til ventiler. Kanalene vil forbli den samme størrelsen som tilkoblingen til ventilen. Det kan medføre at enkelte kanaler under- eller overdimensjoneres. Underdimensjonerte kanaler vil merkes i rapporten da det vil medføre et høyere trykkfall eller en høyere hastighet enn kravene lagt som grunnlag for beregningene. Overdimensjonerte kanaler vil imidlertid ikke merkes, og kanalene som kobles til ventilene bør dermed kontrolleres manuelt.

Tabell 4.5. Utsnitt av rapporten som viser systemet mellom ventilasjonsaggregatet og avkastet.

Level	Node	Size	Old size	L [m]	qv [m ³ /h]	v [m/s]	dp/L [Pa/m]	Sizing method	Warnings
Plan U1	1				1470				
Havnivå		850x400/315			1470	1,2			
Havnivå		315		0,2	1470	5,2	1,05	1 Pa/m	dp/L
Plan U1		315			1470	5,2			
Plan U1		315		0,7	1470	5,2	1,05	1 Pa/m	dp/L
Plan U1		315			1470	5,2			
Plan U1		315		2,3	1470	5,2	1,05	1 Pa/m	dp/L
Plan U1		315			1470	5,2			
Plan U1		315		4,2	1470	5,2	1,05	1 Pa/m	dp/L
Plan U1	2	315			1470	5,2			

Dette er vist i Tabell 4.5, da det vises i rapporten at det er for høyt trykktap i forhold til den valgte metoden, og dermed vises det en advarsel om trykktapet. Utsnittet viser at trykktapet er for høyt i forhold til den valgte dimensjoneringsmetoden, men at det allikevel ikke foreslås en dimensjonsendring i kanalnettet. Det kommer av at kanalene er koblet til en ventil med diameter på 315 mm, og dermed justeres ikke kanaldimensjonene til en størrelse som er mer passende for trykktapet.

4.2 Trykktapsberegning

MagiCAD tilbyr muligheter for å gjennomføre trykktapsberegninger på varme- og ventilasjonsanlegget. For å gjennomføre beregningene vil det stilles de samme kravene til kvaliteten på modellen, som det stilles for dimensjonering. Rapporten som generes etter at beregningene er gjennomført gir en detaljert oversikt over hvordan trykket forandrer seg gjennom systemet. Det gir da en oversikt over både friksjonstapet over strekkene, støttapskoeffisienten ved hver retnings-, hastighets- eller tverrsnittsendring, det totale trykkfallet, samt totaltrykket inne i komponenten. I tillegg vil den ugunstigste kretsen i systemet markeres i rapporten. Dette er tydelig vist i Figur 4.6, hvor den ugunstigste kretsen er markert i grønt til venstre i rapporten.

MagiCAD - Hydronic Network Pressure Drop Report

Edit

Supply General results

Return

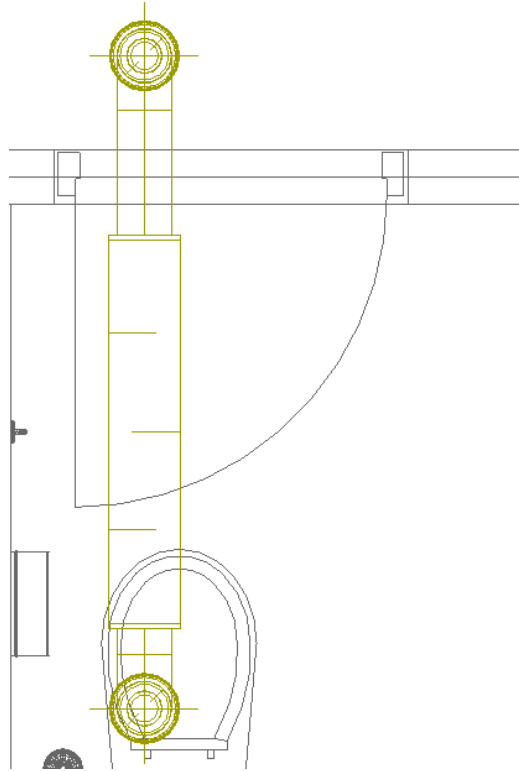
Location	Level	Node	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulatio	P [W]	qv [l/s]	v [m/s]	dp/L [Pa/m]	dpt [kPa]	Kfactor	pt [kPa]	adj.	Warnings
Plan U1			PIPE	KR005T		15	0.1		288	0.00711	0.06	6.3	0.001		19.485		
Plan U1			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	15/10			288	0.00711	0.06		0.001	0.155	19.485		
Plan U1		49	ZONE VAL	KR005T	TA-COMP	10			288	0.00711			15.425		19.484	1.3	
Plan U1			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	15/10			288	0.00711	0.09		0.001	0.137	4.059		
Plan U1			PIPE	KR005T		15	0.2		288	0.00711	0.06	6.3	0.002		4.058		
Plan U1			BEND-90	KR005T	MAGI-CU-	15			288	0.00711	0.06		0.001	0.481	4.057		
Plan U1			PIPE	KR005T		15	2.6		288	0.00711	0.06	6.3	0.017		4.056		
Plan U1			BEND-90	KR005T	MAGI-CU-	15			288	0.00711	0.06		0.001	0.481	4.039		
Plan U1			PIPE	KR005T		15	0.0		288	0.00711	0.06	6.3	0.000		4.039		
Plan U1		50	HEATING:		C22-500-5	15			288	0.00711					4.039		
Plan U1		51	PLUG	KR005T	MAGI-CU-	16											
Plan U1			PIPE	LKPALA		16	3.7	BI013T/	288	0.00711	0.06	7.7	0.029		19.557		
Plan U1			JOINT	LKPALA	Lk Presse	20		BI013T/	288	0.00711	0.04				19.529		
Plan U1			PIPE	LKPALA		20	0.0	BI013T/	288	0.00711	0.04	3.1	0.000		19.529		
Plan U1			STOPVAL	LKPALA	AT3600-20	20		BI013T/	288	0.00711					19.528		
Plan U1			REDUCER	LKPALA	MAGI-CU-	20/15		BI013T/	288	0.00711	0.04		0.000	0.124	19.528		
Plan U1			PIPE	KR005T		15	0.6	BI013T/	288	0.00711	0.06	6.3	0.004		19.528		
Plan U1			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	15/10		BI013T/	288	0.00711	0.06		0.001	0.155	19.525		
Plan U1		52	ZONE VAL	KR005T	TA-COMP	10		BI013T/	288	0.00711			15.425		19.524	1.3	
Plan U1			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	18/10		BI013T/	288	0.00711	0.09		0.001	0.347	4.099		
Plan U1			PIPE	KR005T		18	0.2	BI013T/	288	0.00711	0.04	2.7	0.000		4.098		
Plan U1			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	18/15		BI013T/	288	0.00711	0.04		0.000	0.146	4.097		
Plan U1			BEND-90	LKPALA	MAGI-CU-	15		BI013T/	288	0.00711	0.06		0.000	0.500	4.097		
Plan U1			PIPE	LKPALA		16	2.7	BI013T/	288	0.00711	0.06	7.7	0.021		4.097		
Plan U1			REDUCER	LKPALA	MAGI-CU-	16/15		BI013T/	288	0.00711	0.06		0.000	0.130	4.076		
Plan U1			BEND-90	LKPALA	MAGI-CU-	15		BI013T/	288	0.00711	0.04		0.000	0.500	4.075		
Plan U1			PIPE	LKPALA		16	0.0	BI013T/	288	0.00711	0.06	7.7	0.000		4.075		
Plan U1		53	HEATING:		C22-500-5	15			288	0.00711					4.075		

Previous warning/error Next warning/error **Ok - Update to model** Cancel

Figur 4.6. Utsnitt av rapporten for trykktapsberegningene på varmesystemet for plan U1.

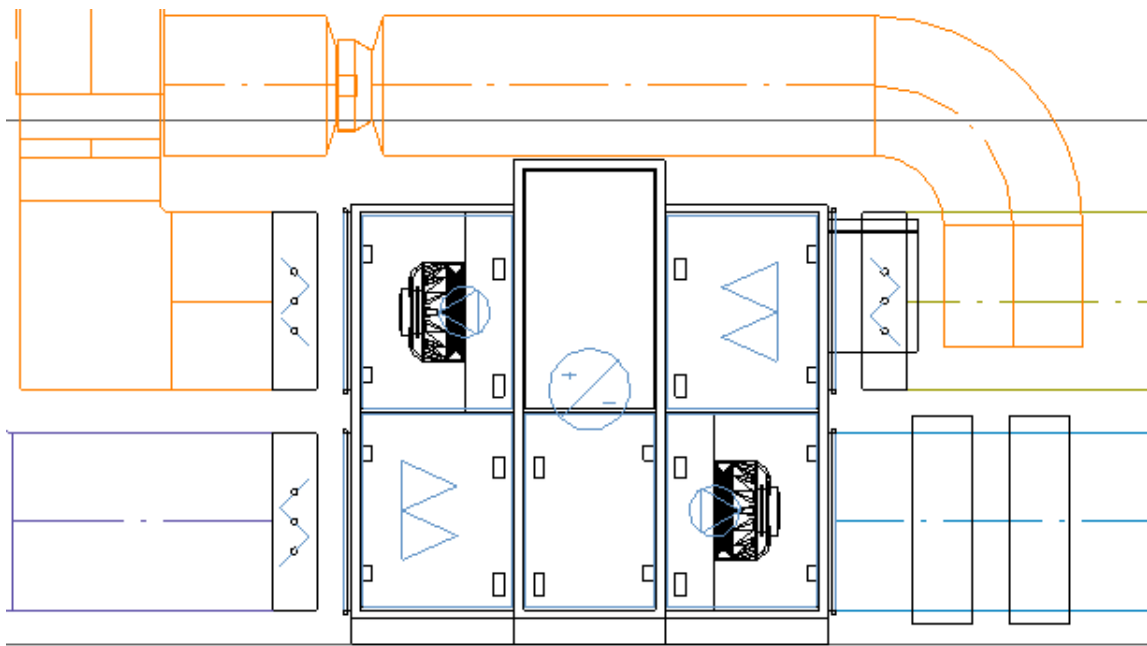
4.3 Begrensninger ved beregning i MagiCAD

Det er noen begrensninger for hva beregningsverktøyet i MagiCAD kan benyttes til. En av disse begrensningene er at det ikke er mulig å gjøre beregninger på overstrømningskanaler. Som beskrevet tidligere, vil det være behov for at ventilasjonsanlegget ikke er et «Closed network». En overstrømningskanal har en avtrekksventil og en tilluftsventil i hver ende, og er ikke koblet til et ventilasjonsaggregat, og vil dermed opptre som et «Closed network» i programmet. Et eksempel på en overstrømningskanal er vist i Figur 4.7. Det er mulig å omgå problemet ved å kun modellere inn én ventil, og modellere inne den andre ventilen etter at beregningene er gjennomført. Da vil overstrømningskanalen ha en åpen ende i systemet.



Figur 4.7. Overstrømningskanal (markert i gult) som det ikke kan gjøres beregninger på.

Hvis det benyttes trekk-ut-strategi for brannsikring av et bygg, vil da være behov for en bypassløsning på ventilasjonsaggregatet. Det er for å påse at røyk ikke tetter avtrekksfilteret, og aggregatet dermed stopper (Ingebrigtsen et al., 2021). Et eksempel på en bypassløsning er vist i Figur 4.8, hvor avkastet er markert i oransje, mens avtrekket er markert i gul. For dette eksempelet er i tillegg ikke kanalene koblet sammen, da det ikke er tilstrekkelig plass til bendet. Å koble avtrekket til avkastet vil skape problemer i MagiCAD da det vil være nødvendig å koble avtrekkssystemet direkte til avkastsystemet. Da vil det oppstå en «system inconsistency» og det vil ikke være mulig å gjennomføre beregninger på systemet.



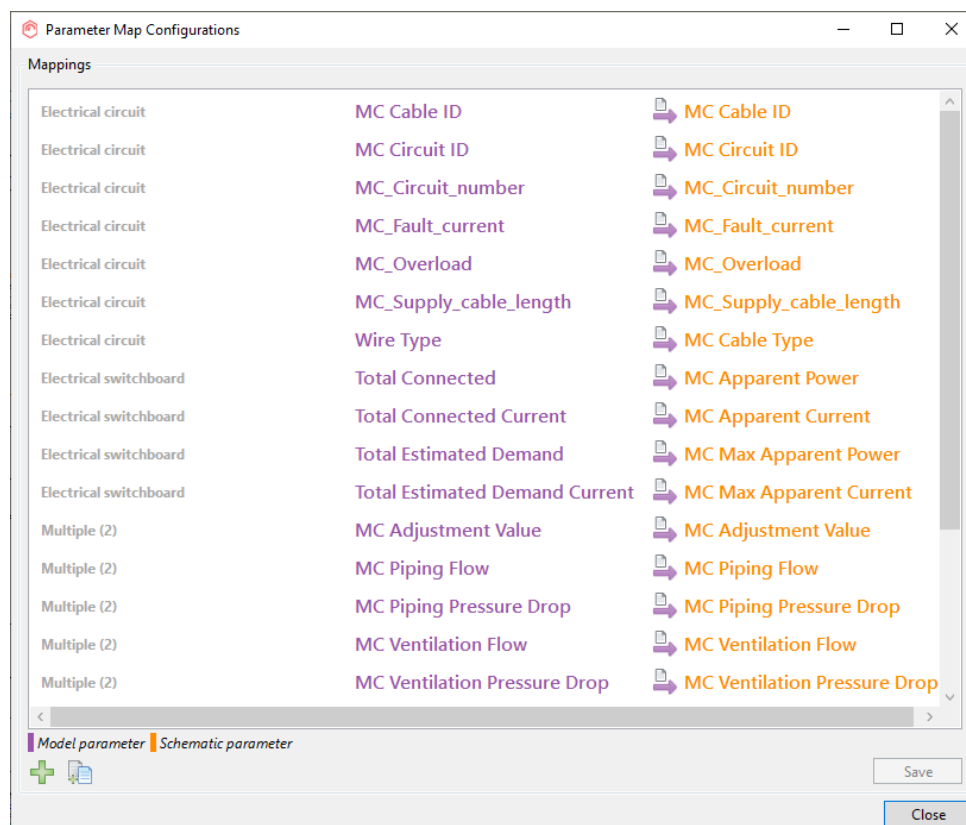
Figur 4.8. Bypassløsning for ventilasjonsanlegg.

For varmesystemene er det noen tilfeller hvor det ikke er hensiktsmessig å koble rørene til en installasjon med et spesifisert vannbehov. Et eksempel på dette for ambulansestasjonen er gatevarme, som ikke er koblet til varmerørene. Da vil det ikke være mulig å gjennomføre beregninger for systemene som ikke kan kobles til en installasjon, med mindre det lages en installasjon i modellen som gjenspeiler vannbehovet som gatevarmen trenger.

Det finnes ingen muligheter i MagiCAD for å gjøre dimensjonering av avløpsrørene. Det er mulig å gjøre beregninger på volumstrøm og samtidighet i MagiCAD, men det vil ikke gjøres noen beregninger som justerer dimensjonene på avløpsrørene.

4.4 Linking av systemskjema mot modell

MagiCAD tilbyr programvare for å linke VVS-modellen opp mot systemskjema. Denne funksjonen gjør det mulig å linke sammen komponenter i modellen med sine respektive symboler i systemskjemaet. Ved å linke systemskjemaet mot modellen, vil det være mulig å synkronisere parametere. Da vil komponentene som er tegnet inn i systemskjemaet kunne få inn de samme verdiene som komponentene har i 3D-modellen. Det medfører en mulighet til å hente ut informasjon strømning, trykktap, hastighet o. l. i systemskjemaet, fremfor å måtte finne komponenten i 3D-modellen. For å kunne gjøre dette, må det spesifiseres hvilke parametere som skal synkroniseres for hver enkelt komponenttype, noe som kan gjøres i menyen vist i Figur 4.9.

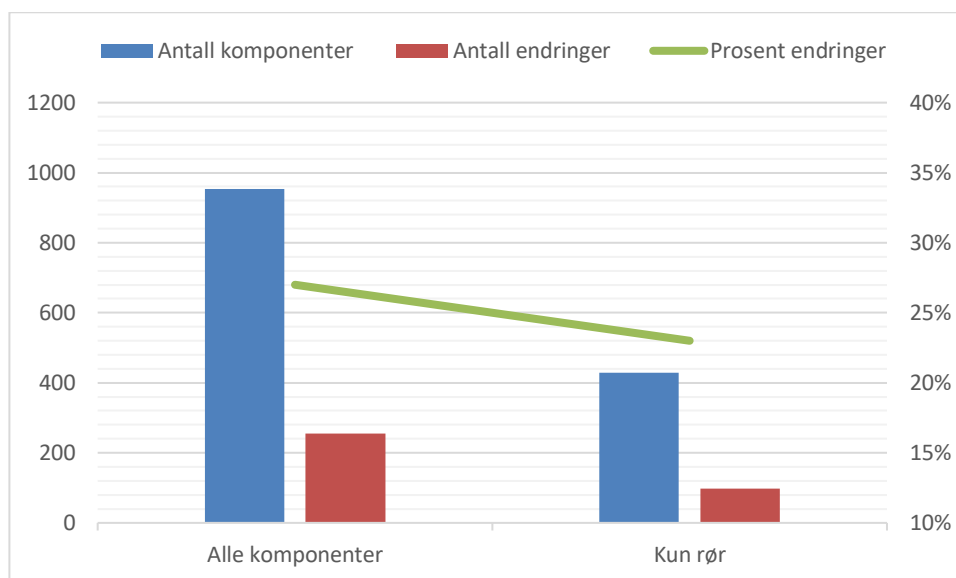


Figur 4.9. Meny for å spesifisere parametere som skal synkroniseres.

En annen mulighet ved å linke systemskjemaet mot modellen er at det er mulig å lokalisere komponenter i modellen ved hjelp av systemskjemaet. En funksjon i modulen MagiCAD Schematics som heter «Zoom to Linked Object» gjør at det er mulig å velge en komponent i modellen, og dermed finne den samme komponenten i systemskjemaet, og motsatt.

5 Diskusjon

Resultatet viser at MagiCAD foreslår at det gjøres endringer på 59% av sanitæranlegget, 26% av varmeanlegget og 33% av ventilasjonsanlegget, slik presentert i Tabell 4.2. Disse dataene er basert på at alle komponentene i anlegget er inkludert. Dermed vil endringene på bend, overganger, ventiler og spjeld inkluderes i beregningene, selv om justeringene er gjort fordi rørene/kanalene de er koblet til er endret, og ikke fordi det er gjort en dimensjonering på selve komponenten. Ved å ekskludere alle komponentene som ikke er rør eller kanaler, foreslår MagiCAD at det gjøres endringer på 59% av sanitæranlegget, 21% av varmeanlegget og 35% av ventilasjonsanlegget, slik presentert i Tabell 4.3. Ved å kun inkludere rør- og kanalstrekke, reduseres antallet komponenter i beregningene betraktelig, men prosentandelen endringer beholdes forholdsvis lik. Figur 5.1 viser forskjellene mellom å inkludere alle komponentene i dataene, i forhold til å kun inkludere rør. Figuren tar utgangspunkt i dataene for turlodningene til varmesystemene. Da vises det at selv om antallet komponenter og antall endringer som telles, reduseres med over halvparten, forblir prosentandelen relativt lik, med henholdsvis 27% når alle komponentene er inkludert, og 23% med kun rør. Det tyder på at prosentandelene presentert i Tabell 4.2 ikke påvirkes bemerkelsesverdig av den store mengden komponenter i VVS-anlegget. Dette er av interesse da endringer i dimensjoner på bend og overganger kan komme som en følge av at rørene de er koblet til endrer dimensjoner, og kan dermed gi en feilaktig fremstilling av resultatene.



Figur 5.1. Oversikt over effekten av å kun inkludere rør i beregningene.

Ved å undersøke det minste ventilasjonssystemet nærmere, viser det at på et system med relativt få deler, har beregningsfunksjonen betraktelig bedre nøyaktighet i forhold til prosentandelen endringer. Det minste ventilasjonssystemet består av henholdsvis 26 og 18 kanalsegmenter for tilluft og avtrekk. Disse systemene hadde en likhet på henholdsvis 88% og 89% for beregningsmetoden i MagiCAD sammenlignet med de tradisjonelle metodene. Resultatene av beregningene stemmer også godt overens med resultatene Brett presenterte etter å ha gjennomført en lignende studie på et ventilasjonssystem av lik størrelse. Resultatene til Brett viste en likhet på 85% for tilluftssystemet, og en likhet på 69% for avtrekkssystemet (Brett, 2019). Dette bidrar til å vise at beregningsfunksjonen evner å levere jevne resultater under relativt like forhold.

5.1 Forskjeller i teori

En av de største forskjellene mellom beregningsverktøyet i MagiCAD sammenlignet med de tradisjonelle metodene er at det der forskjeller i det teoretiske grunnlaget. Ettersom brukeren har begrensede muligheter for å bestemme hvilke matematiske modeller beregningsverktøyet skal benytte for å gjennomføre beregningene, er det essensielt å forstå hvordan forskjellene i den underliggende teorien påvirker resultatene.

Selv om MagiCAD i sin dokumentasjon for beregningsverktøyet ikke presenterer den mest grunnleggende strømningsstekniske teorien, er det rimelig å anta at de underliggende fysiske prinsippene er tatt i betraktning under utviklingen av programmet. Dermed er det å også rimelig å anta at den grunnleggende strømningsmeknikken er lik for begge metodene, og at den for MagiCAD, er lik teorien beskrevet i kapittel 2.1, med mindre annet er presisert.

Som beskrevet i kapittel 2.5, er det en liten forskjell i hvordan det skilles mellom turbulent og laminær strømning, og hvilke formler som benyttes for å beregne friksjonstallet for hvert tilfelle. Dette kan i teorien ha en liten innvirkning på beregningen av friksjonstapet i enkelte tilfeller. Ved å undersøke ligning (2.21), som er ligningen som utgjør forskjellen mellom de to metodene, er det mulig å se at det første leddet korresponderer med ligningen som benyttes for laminær strømning. Det andre leddet er et tillegg som benytter formelen for friksjonstallet ved turbulent strømning til å tilpasse ligningen i forhold til hvor høyt Reynolds-tallet blir over 2200. I praksis vil dette ha liten innvirkning på resultatene da strømningen i de aller fleste tilfeller vil være turbulent. Det betyr at ligning (2.6) vil bli benyttet med mindre det er omstendigheter som tilsier at laminær strømning vil forekomme.

En av de andre store forskjellene mellom teorien for de to metodene er hvordan trykktapet i ventilasjonsanlegget beregnes. For de tradisjonelle metodene beregnes trykktapet og støttapskoeffisientene ut ifra diagrammer og kurver, hvor dataene er samlet ved hjelp av empiriske undersøkelser av de aktuelle komponentene. Det vil naturligvis ikke være mulig å bruke diagrammer og kurver som beregningsgrunnlag i et dataprogram, og derfor benyttes det en rekke formler for å gjennomføre trykktapsberegning på et ventilasjonsanlegg, beskrevet i kapittel 2.5. Flere av formlene er utviklet ved hjelp av kurvetilpasning i forhold til kurver i produktdatablader for produkter fra forskjellige leverandører, eksempelvis Flåkt Group og Lindab. Det er også der rimelig å anta at trykktapskurvene er utviklet ved hjelp av empiriske undersøkelser av produktene. Dermed vil beregningene gjort med disse formlene i utgangspunktet være produktspesifikke, men de bør i de fleste tilfellene være tilstrekkelige for å gi et tilfredsstillende resultat. Det kan imidlertid medføre at det oppstår små forskjeller mellom de to metodene, og det må derfor tas til følge hvis trykktapsberegningene er sentralt for prosjektet.

Det er også forskjeller mellom de to metodene i hvordan trykktapet i varme- og sanitærrør beregnes. Stensaas benytter en tabell som gir en oversikt over støttapskoeffisientene for hver type enkeltmotstand som oppstår i sanitærrørene (Stensaas, 1999), mens Zijdemans beskriver støttapskoeffisienten for varmerørene ved hjelp av Figur 2.2, som tar høyde for både dimensjonene på røret, og hvilken type komponent som er aktuell (Zijdemans et al., 2014). MagiCAD benytter derimot en rekke formler for å beregne støttapskoeffisientene, beskrevet i kapittel 2.5. Disse formlene er basert på strømningsmeknikken (MagiCAD, 2018), og det kan dermed oppstå små forskjeller i hvordan trykktapet i rørene beregnes mellom de to metodene.

Det er også en forskjell i hvordan volumstrømmen i sirkulasjonsledningen beregnes. MagiCAD benytter i utgangspunktet en metode utviklet av CIPHE (MagiCAD, 2018), mens de tradisjonelle beregningsmetodene tar utgangspunkt i varmetapet til rørene, slik beskrevet i kapittel 2.2. Som nevnt, finnes det flere metoder i MagiCAD, men ingen er basert på det norske reglementet, i tillegg til at MagiCAD ikke dokumenterer teorien som ligger til grunn for de forskjellige metodene. Det er imidlertid

mulig å fastslå at det er en forskjell i teorien. Ved å gjennomføre en manuell beregning av den nødvendige volumstrømmen i sirkulasjonsledningen etter de tradisjonelle metodene, vises det at volumstrømmen nesten dobles i forhold til det MagiCAD beregner når standardmetoden er valgt.

5.2 Nøyaktighet og pålitelighet

Studien er gjort med utgangspunkt i en VVS-modell med rør og kanaler som er dimensjonert i forhold til den tradisjonelle metoden. Som det er beskrevet i kapittel 3, innebærer dette at deler av eventuelle endringer som oppstår ved å gjennomføre MagiCAD-dimensjoneringene på den aktuelle modellen, vil komme som et direkte resultat av forskjeller mellom metodene. Dataene presentert i kapittel 4 indikerer at i mange tilfeller, vil programmet foreslå en dimensjonsendring som enten er én dimensjon opp, eller én dimensjon ned. Dette vises også i vedleggene, som gir en fullstendig oversikt over dataene, og hvordan endringer som forekommer. Dermed kan det være rimelig å anta at programmet er forholdsvis pålitelig ettersom resultatene viser at selv om det foreslår flere endringer, er ikke endringene så drastiske at det fremhever vesentlige feil og mangler i funksjonaliteten til beregningsverktøyet. I tillegg er det verdt å merke at deler av avvikene mellom metodene, kom som følge av at anlegget måtte justeres for å kunne gjennomføre beregninger.

De største andelene av avvikene kom på sanitæranlegget. En av årsakene til dette kan være at sanitær anlegget var det anlegget som krevde de mest omfattende endringene for å tilrettelegge for beregningene. For å kunne gjennomføre beregningene, måtte en rekke tappesteder med estimerte vannmengdebehov installeres, samt at vannmengdene for nøddusjene i ambulansestasjonen ble antatt, og forbruksvannsrørene ble koblet til et fordelerskap. Disse antagelsene kan ha ført til avvik mellom vannmengdene som MagiCAD benytter under dimensjonering, og vannmengdene brukt under den tradisjonelle dimensjoneringen. I tillegg foreslår MagiCAD en dimensjonsendring inn til de fleste tappestedene. I mange tilfeller er dette på rør som måtte legges til for å koble hovedledningene til tappestedene, og hvor det i tillegg måtte benyttes en annen rørtype. MagiCAD vil også endre på dimensjonene til rørene rundt alle ventilene inn mot tappestedene. Det er et resultat av at dimensjonene på både ventilene og rørene som er koblet til ventilene, måtte endres for å kunne koble de sammen, og dermed gjøre beregningene. Elementene som måtte legges til for å koble til ett av tappestedene er markert i rødt i Figur 5.2, mens de foreslåtte dimensjonsendringene rundt en ventil er markert i grønt. Figuren viser i kolonnen markert «Size» hvilke dimensjoner som MagiCAD foreslår, mens kolonnen «Old size» viser hva dimensjonene var før beregningene. Dermed vil alle verdier i «Old size» kolonnen representere en dimensjonsendring som MagiCAD foreslår. Dimensjonsendringene nær tappestedene oppstår der hvor det var nødvendig å endre på rørdimensjonene for å kunne koble til tappestedet. Dermed er deler av rørnettmodellen modellert inn uten at det er gjort noen underliggende beregninger, og som et resultat kan visse endringer oppstå. Det er også verdt å merke at MagiCAD vil justere nesten hele returledningen for sirkulasjonsvannet, én eller to dimensjoner ned. Det kommer av forskjellene beskrevet i kapittel 2.2, som medfører at MagiCAD beregner en nesten halvert volumstrøm i sirkulasjonsledningen i forhold til de tradisjonelle beregningsmetodene.

MagiCAD - Domestic Water Sizing Report

Edit

Domestic water
 Circulation water

Cold water
 Hot water
 Fire hydrant

General results

Update sizing

Location	Level	Node	Type	Series	Product	Size	Old size	L [m]	Insulatio	qv sum [l/s]	qv (fire) [l/s]	qv dim [l/s]	v (dim) [m/s]	dp/L [Pa/m]	Sizing method	Warnings
Plan U1			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	32			BI001T/	0,20000	0,88333	0,20000	0,38			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	32		0,4	BI001T/	0,20000	0,88333	0,20000	0,38	93,5	2 m/s	
Plan U1			STOPVAL	LKPALA	AT3600-32	32			BI001T/	0,20000	0,88333	0,20000				
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	32		4,0	BI001T/	0,20000	0,88333	0,20000	0,38	93,5	2 m/s	
Plan U1		22	BRANCH	LKPALA	LK_PressP	32/16			BI013T/	0,20000	0,88333	0,20000	0,38			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,1		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			REDUCER	LKPALA	LK_PushFit	16	20/16			0,20000		0,20000	1,77			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16	20	0,1		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			STOPVAL	LKPALA	AT3600-15	15	20			0,20000		0,20000				
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16	20	0,1		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			REDUCER	LKPALA	LK_PushFit	16	20/16			0,20000		0,20000	1,77			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,0		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	16				0,20000		0,20000	1,77			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,5		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	16				0,20000		0,20000	1,77			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		2,2		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Plan U1			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	16				0,20000		0,20000	1,77			
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,1		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Havnivå			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	16				0,20000		0,20000	1,77			
Havnivå			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,4		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Havnivå			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	16				0,20000		0,20000	1,77			
Havnivå			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	16		0,0		0,20000		0,20000	1,77	3632,2	2 m/s	
Havnivå			REDUCER	KR005T	MAGI-CU-	16/15	16/12			0,20000		0,20000	1,77			
Havnivå			BEND-90	KR005T	MAGI-CU-B	15	12			0,20000		0,20000	1,60			
Havnivå			PIPE	KR005T	Mapress-C-	15	12	0,1		0,20000		0,20000	1,60	4462,5	2 m/s	
Plan U1		23	DOMESTI		32224002	12				0,20000		0,20000				
Plan U1			PIPE	LKPALA	LK PAL Uni	32		0,4	BI001T/		0,88333				2 m/s	
Plan U1			BEND-90	LKPALA	LK PressPe	32			BI001T/		0,88333					

Previous warning/error Next warning/error Ok - Update to model Cancel

Figur 5.2. Utsnitt av rapport som viser hvor noen av endringene forekommer.

Som beskrevet i kapittel 5.1, er det flere forskjeller i det teoretiske grunnlaget for de to metodene. Hvordan volumstrømmen i sirkulasjonsledningen beregnes, er det avviket i teorien som har størst betydning for dimensjoneringen. Forskjellene i hvordan trykktapet beregnes har mest innflytelse på trykktapsberegningene i programmet, men de vil allikevel ha en innvirkning på dimensjoneringen. Spesielt for varme- og ventilasjonsanleggene, vil det kunne bidra til avvik i dimensjoneringen, da begge disse anleggene er dimensjonert i forhold til trykktap. For test-caset ble varmeanlegget dimensjonert med krav om at trykktapet i rørene ikke skulle overskride 150 Pa/m, mens ventilasjonsanlegget ble dimensjonert med krav om at trykktapet i kanalene ikke skulle overskrive 1 Pa/m. Selv om det er teorigrunnlaget for støttapsberegning som skaper de største forskjellene mellom metodene, er det også forskjeller i hvordan friksjonstapet beregnes. Dermed kan de små forskjellene i teorien for friksjonstapsberegning påvirke hvilke dimensjoner MagiCAD foreslår for hvert rør eller hver kanal.

Forskjellene mellom beregningsmetodene viste seg å være relativt begrenset med hensyn til varmesystemet. Rørsystemet var allerede riktig tilkoblet alle radiatorene, og dermed var det relativt få endringer som måtte gjøres for å kunne utføre beregningene. De manuelle endringene som måtte gjøres for å kunne gjennomføre beregninger på modellen, bestod hovedsakelig av å tilpasse bend og overganger for å sikre at alle rørstrekkene i systemet var koblet sammen. Det medførte at dimensjonene på et lite antall koblingspunkter mellom forskjellige grener måtte justeres for at MagiCAD skulle gjenkjenne at rørdelene var koblet sammen. I tillegg måtte det fjernes noen ventiler, da rørtypen som ble valgt for prosjektet ikke var kompatible med disse ventilene. Fjerningen av ventiler vil uansett ikke ha en merkbar innvirkning på resultatet, da de ikke har innvirkning på volumstrømmingen. Igjen er det i hovedsak mellom hovedledningene og tappendene at MagiCAD foreslo dimensjonsendringene.

For ventilasjonsanlegget, var endringene som følge av beregningene forholdsvis få. Endringene som måtte gjøres på ventilasjonsanlegget gikk i de fleste tilfeller ut på å passe på at alle kanalene var koblet til ventilasjonsaggregatet, og at alle komponentene i anlegget var klassifisert som en del av riktig system. Disse endringene vil i utgangspunktet ikke ha noen direkte innvirkning på volumstrømmen i kanalene, og vil dermed ikke påvirke antallet dimensjonsjusteringer som beregningsverktøyet foreslår. De foreslåtte dimensjonsjusteringene forekom i all hovedsak på hovedstrekene til ventilasjonssystemet som tjener garasjeområdene, for både tillufts- og avtrekkssystemene. Det er igjen viktig å merke at kun to av de tre ventilasjonssystemene i bygget ble endret til et nivå som tillot utførelse av beregninger. Det betyr at datagrunnlaget for ventilasjonssystemene kunne vært sterkere, som igjen kunne bidratt til mer nøyaktige resultater.

En stor andel av utfordringene, er knyttet til at kravene som ble stilt av beregningsverktøyet, ikke var oppfylt. Det er rimelig å anta at deler av disse utfordringene kunne vært unngått, eller i det minste redusert, dersom det ble lagt større vekt på disse funksjonskravene under modelleringen. Større fokus på funksjonskravene til beregningsverktøyet kan også bidra til å gjøre beregningene mer nøyaktige, samt gjøre det enklere å gjøre endringer på modellen der nødvendig. Derfor er det sentralt at brukeren har en grundig forståelse av både kravene og begrensningene til programmet for å effektivt kunne utføre beregningene.

5.3 Brukervennlighet

Selve beregningsfunksjonen er relativt grei og brukervennlig. Brukergrensesnittet er intuitivt nok til at det er mulig å gjennomføre beregningene uten noen betydelig opplæring. Som vist på figurene i kapittel 3.2, er det relativt få innstillinger som må bestemmes før beregningene kan gjennomføres. Det er nødvendig å vite hvilken metode, av de gitt i kapittel 2.5, som skal ligge til grunn for beregningene, og selv der er det i de fleste tilfeller, forholdsvis enkelt å avgjøre hvilken metode som er best egnet for hvert fag. I tillegg kan det være hensiktsmessig å vite temperaturen på omgivelsene rundt varme- og sanitærrørene, da det gir muligheter for å beregne varmetapet til rørene i en realistisk situasjon. Etter at beregningene er gjennomført, genereres det en rapport som på en klar og oversiktlig måte, presenterer resultatene, og hvor all informasjonen er forklart slik at det er relativt enkelt å forstå hva den representerer.

I forhold til brukervennligheten, er det selve modelleringen som gjør det krevende å bruke beregningsfunksjonen. Som beskrevet tidligere, kan det være krevende å lage en modell som er utført til et nivå som tillater å gjennomføre beregninger. I tillegg kan det være knyttet store utfordringer til å oppdatere modellen i forhold til endringene som foreslås etter at anlegget er dimensjonert. Dermed er det selve modelleringsarbeidet som vil være den delen av prosessen som krever mest kompetanse.

5.4 Fordeler ved bruk av MagiCAD

Det er flere fordeler forbundet med bruk av beregningsfunksjonen i forhold til de tradisjonelle beregningsmetodene. Den aller mest sentrale fordelen er at det vil være mulig å modellere hele VVS-anlegg i én dimensjon, og deretter la programmet dimensjonere systemet ved hjelp av enten luftmengdene, varmebehovet eller vannbehovet. Selv om det vil kreve ekstra tid til å sørge for at det er mulig å gjøre beregninger på modellen, er det forventet at modellene skal utarbeides til et slikt nivå uavhengig av dette. Dermed er det mer potensiale for å spare tid på forholdsvis små prosjekter, hvor VVS-anlegget ikke er alt for kompleks, eller på prosjekter hvor det er enklere å sikre at modellen kan utføres til tilstrekkelig nivå uten at det krever mye arbeid.

En annen fordel er at bruk av beregningsfunksjonen kan bidra til at kvaliteten på 3D-modellene heves. Det kommer av at beregningsfunksjonene i MagiCAD vil stille krav til at alle koblinger mellom rør, rørkomponenter og installasjoner er riktig utført. En større oppmerksomhet på riktig utførelse av

detaljene gjennom hele modelleringsprosessen kan også bidra til å identifisere andre feil og mangler i 3D-modellen.

En av fordelene ved bruk av MagiCAD er at det også er muligheter for å utføre balansering av VVS-systemene, samt trykktapsberegning på varme- og ventilasjonssystemene. Når en modell er dimensjonert ved hjelp av beregningsfunksjonen, vil den allerede være utarbeidet til et tilstrekkelig nivå. Det legger til rette for at det vil det være relativt enkelt å gjøre en balansering eller trykktapsberegning på modellen. Denne funksjonaliteten kan bidra til at tiden som brukes til å forbedre modellen til en standard hvor beregninger er gjennomførbare, potensielt kan kompenseres for ved tidsbesparelsen som oppnås som følge av at trykktapsberegninger og balanseringer gjøres automatisk. Dermed kan den totale tidsbruken for VVS-beregningene reduseres selv om tidsbruken for selve dimensjoneringsarbeidet ikke nødvendigvis reduseres.

Når MagiCAD tilbyr muligheter for å automatisk gjøre både dimensjonerings, balanseringer og trykktapsberegninger, kan det bidra til å redusere mengden arbeid som må legges ned hvis det skulle forekomme endringer underveis i prosjektet. Wang beskriver at når det forekommer endringer på et prosjekt, er det modelleringsarbeidet som er det mest tidkrevende delen av VVS-prosjekteringen (Wang et al., 2022). Arbeidsmengden kan da reduseres ved endringer i prosjektet, da det ikke vil være nødvendig å gjøre like mange manuelle endringene på modellen, samt gjøre trykktapsberegninger og balansering på nytt. Det kan også gi muligheter for en mer iterativ fremgangsmåte under prosjekteringer, hvor ulike løsninger kan utforskes for å se fordeler og ulemper knyttet til løsningene.

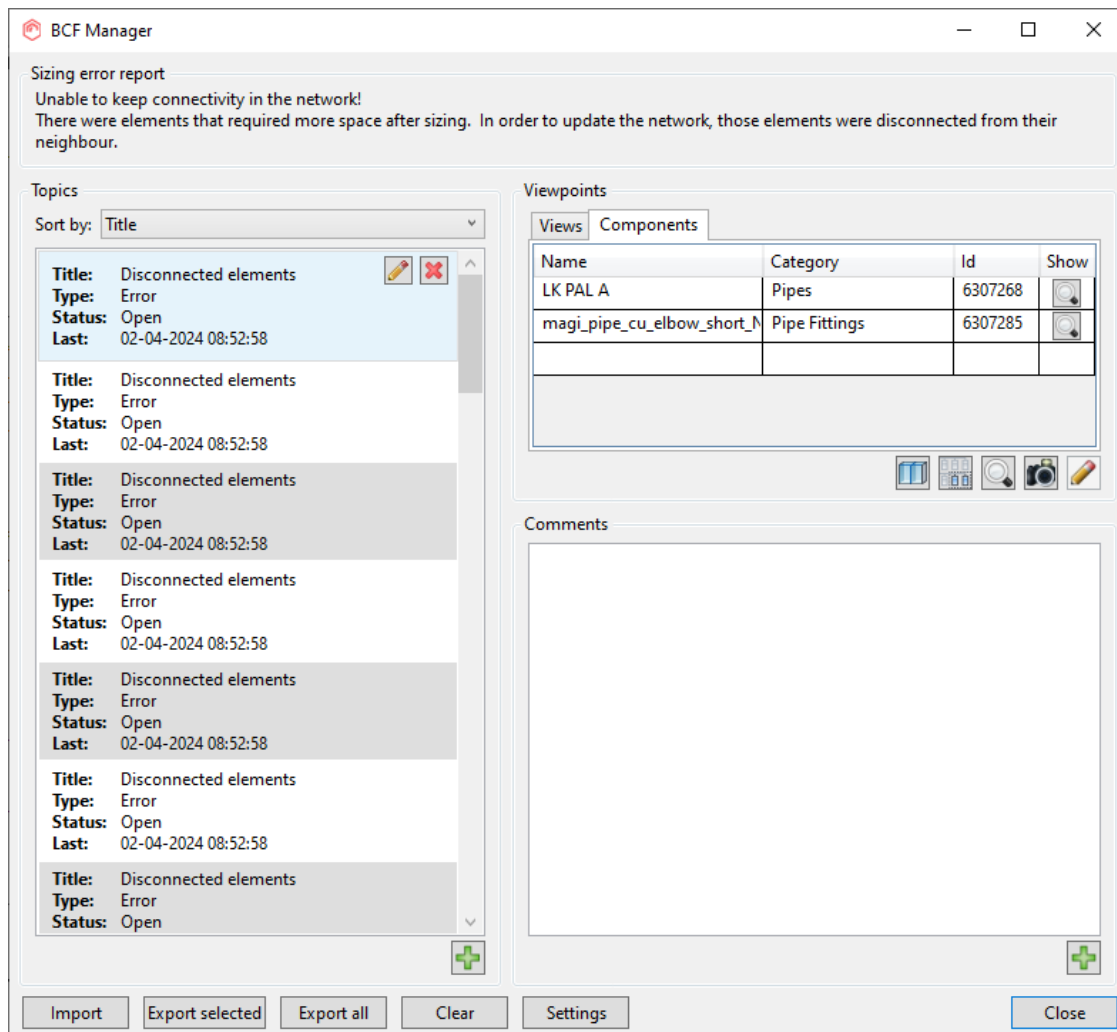
Å kunne flytte deler av beregningene fra regnearket og over til MagiCAD kan bidra til å gjøre arbeidet enklere da det kun er ett program å forholde seg til. Varmetapet og luftmengdebehovet må beregnes utenom MagiCAD, mens de samtidige vannmengdene også må beregnes med mindre alle sanitærinstallasjonene skal modelleres inn. Etter at disse grunnleggende beregningene er gjort, vil de resterende design- og beregningsoppgavene gjøres i ett og samme program. Dermed kan forskjellige løsninger umiddelbart styrkes ved hjelp av beregninger, og som beskrevet tidligere, gjøre det enklere å endre på modellen hvis det skulle forekomme endringer.

Å kunne linke 3D-modellen opp mot systemskjemaet er en fordel, da det bidrar til å enklere kunne navigere i både modellen og systemskjemaet. I tillegg vil det da være mulig å se parameterne til komponentene i systemskjemaet, som kan bidra til å enklere finne de dataene som er av interesse. Denne forbindelsen kan bidra til å redusere tiden som brukes til å navigere mellom visningene.

5.5 Ulemper ved bruk av MagiCAD

En av de største ulempene med å bruke beregningsfunksjonene i MagiCAD er at det ikke er garanti for at systemene er sammenkoblet etter at dimensjoneringen er gjennomført. Figur 5.3 viser et eksempel på en rapport som generes etter at dimensjonsendringene er oppdatert til modellen, og inneholder hvert enkelt tilfelle hvor to komponenter er koblet fra hverandre, noe som kan bidra til å forenkle arbeidet med å koble de sammen igjen. I tillegg beskrive Zhao flere muligheter for å finne feil i koblinger mellom komponenter (Zhao et al., 2021). For varme- og sanitæranleggene, forekommer dette problemet i all hovedsak hvis det ikke er lastet inn nok overganger, bend og T-rør for den aktuelle rørtypen. Det medfører at den kan bli nødvendig å modellere deler av systemene på nytt. Så lenge det benyttes rørtyper hvor det finnes overganger, bend og T-rør som tillater de forskjellige dimensjonene, vil det i all hovedsak dukke opp problemer der hvor det ikke er tilstrekkelig plass for å akkomodere en dimensjonsendring. Det kan være eksempelvis hvis et bend blir for kort i forhold til kravene stilt av beregningsverktøyet. For ventilasjonssystemene finnes det ikke forskjellige kanaltyper i MagiCAD, og dermed er det igjen hovedsakelig plassrelaterte problemer som oppstår. Igjen er det korte bend eller overganger som forårsaker at deler av systemet ikke henger sammen etter at dimensjonsendringene oppdateres til modellen. Da må det utarbeides en alternativ løsning for å sikre at det er plass til alle de

nødvendige komponentene. Det kan dermed innebære at effektiviteten ikke nødvendigvis forbedres ved å bruke beregningsfunksjonen ettersom det vil kreve ytterligere ressurser for å reparere modellen etter at dimensjoneringen er utført.



Figur 5.3. Rapport med oversikt over alle elementene som kobles fra hverandre etter at dimensjonsendringene er oppdatert til modellen.

En annen ulempe knyttet til bruk av beregningsfunksjonen i MagiCAD er at for sanitær- og varmeanlegget, vil det være nødvendig å modellere inn alle tappesteder for å unngå at systemene har for mange åpne ender. For VVS-modeller er det ikke alltid praktisk å modellere inn alle tappesteder og varmeinstallasjoner, men dette vil være en nødvendig forutsetning for å kunne utføre beregningene. Det kan bidra til at det vil kreve mer ressurser for å kunne gjøre modellen klar til beregninger i forhold til det som kreves for å gjøre beregningene på den konvensjonelle måten. Hovedutfordringen med åpne ender i VVS-modellen er at det kan være meget tidkrevende å koble installasjoner til rørsystemene. Det kan derfor argumenteres at selv om beregningsfunksjonen tilbyr en automatisert dimensjoneringsprosess, kan den innledende modelleringen kreve større tid og arbeid for å sikre at modellen er kompatibel med beregningsfunksjonen.

Som nevnt tidligere, mangler programmet funksjoner for å dimensjonere avløpssystemer. Det er kun mulig å gjøre beregninger på volumstrømmen i avløpsrørene. Som beskrevet i kapittel 2.2 er det en rekke andre forhold foruten volumstrømmen som må tas til følge under dimensjonering av avløpsrør. Derfor vil det i mange tilfeller uansett ikke være av interesse å benytte volumstrømmen til dimensjonering.

En av de største utfordringene ved å bruke beregningsfunksjonen, er forskjellene i hvordan sirkulasjonsledningen for varmtvannet dimensjoneres. Som beskrevet tidligere, medfører disse forskjellene store avvik i dimensjonene og volumstrømmen i sirkulasjonsledningen. Dermed vil det være nødvendig å manuelt kontrollere alle beregninger gjennomført på returledningen til sirkulasjonsvannet, så lenge det ikke er mulig å benytte den norske standarden som beregningsgrunnlag. En annen mulighet for å beregne dimensjonene på sirkulasjonsledningen, er å bruke metoden som tillater brukeren å definere volumstrømmen i sirkulasjonsledningen for hvert skillepunkt mellom sirkulasjonsledningen og varmtvannsledningen. Da vil det imidlertid være nødvendig å manuelt beregne den nødvendige volumstrømmen.

Som beskrevet, er det ingen muligheter for å gjøre beregninger for hverken varmetap eller luftmengdebehov. Dermed vil det være nødvendig å gjøre disse beregningene manuelt selv om beregningsfunksjonen i MagiCAD brukes. Thunshelle beskriver at manuell beregning av luftmengder kan være tidskrevende, og at eventuelle endringer ikke nødvendigvis gjenspeiles i luftmengdebehovet (Thunshelle, 2018). Det betyr derfor at det vil forbli et vedvarende behov for å gjøre beregninger ved hjelp av regneark, selv om det kan medføre større arbeidsmengder, samt en større risiko for at endringer ikke oppdateres i alle ledd av prosessen.

Som nevnt i kapittel 4.3, er det ingen muligheter for å gjøre beregninger på overstrømningskanaler eller ventilasjonsanlegg hvor det er en bypassløsning for aggregatet. For overstrømningskanalen, vil det være mulig å komme rundt utfordringen ved å gjøre beregningene før begge ventilene kobles til, men dimensjonene vil allikevel bestemmes av dimensjonene på tilkoblingspunktet til ventilen. Dermed vil dimensjoneringen ikke ha noen innvirkning med mindre overstrømningen skjer via et meget stort og komplisert system. For bypassløsningen, vil det være nødvendig å gjøre dimensjoneringene før bypass-systemet modelleres inn. Da vil det imidlertid være nødvendig å manuelt bestemme dimensjonene på bypasskanalen.

Etter at beregningene er utført, genereres det en rapport over alle dataene som er gjeldende for beregningen. Der vil det gis en oversikt over alle rørene, kanalene og komponentene som MagiCAD anbefaler at det gjøres en dimensjonsendring på. Det kan imidlertid oppstå vanskeligheter for å forstå hva komponentene listet opp i rapporten korresponderer med i modellen. Det er mulig å velge hver enkelt del og be programmet vise den valgte delen i modellen, men det vil ikke alltid være mulig. Det kommer av at programmet ikke til enhver tid vet hvilken visning som best mulig viser frem den aktuelle komponenten. Da vil programmet tilby å søke etter en visning hvor den aktuelle komponenten er synlig, men for case-modellen foreslo MagiCAD en visning som ikke var oversiktlig nok til å bidra til å løse utfordringen.

5.6 Anbefalinger for bruk under prosjektering

Beregningsfunksjonene i MagiCAD er godt egnet til relativt små prosjekter. Det kommer av at det er enklere å holde orden på et lite VVS-anlegg, og det vil dermed være enklere å oppdage og løse utfordringene som kan oppstå. Hvis det skulle oppstå feil i deler av anlegget, vil det både være færre feil, men de vil også være enklere å lokalisere når det er færre komponenter å forholde seg til.

Det er naturligvis mulig å benytte beregningsfunksjonen på større prosjekter også, men det vil da være nødvendig å være bevisst på hvilke potensielle utfordringer som kan oppstå, og dermed vurdere hvorvidt fordelene overveier ulempene. Eksempelvis, hvis et bygg har et VVS-anlegg som strekker seg over flere etasjer, kan det oppstå problemer utenfor planen. Da vil det naturligvis være ønskelig å se hvor problemet er, men da vil programmet slite med å finne en passende visning, og det kan i verste tilfelle være nødvendig å lete etter feilen manuelt.

Resultatene viser at beregningsfunksjonen i MagiCAD er mest nøyaktig, og dermed best egnet, når det kommer til varmesystemer. Derfor vil det være forholdsvis gode muligheter for å ta funksjonen i bruk

til slike beregninger. Det kan allikevel være en fordel å velge rørtyper i modellen som tillater å enkelt koble til alle installasjonene og komponentene, uten at de kobles fra hverandre etter at dimensjoneringen er gjennomført.

Det er også gode forhold for å bruke beregningsfunksjonen på ventilasjonssystemer. Det er imidlertid viktig å ta høyde for at kanalene som kobles til tillufts- og avtrekksventilene, vil settes til de samme dimensjonene som tilkoblingspunktet til ventilene. Dermed vil det være nødvendig å beregne dimensjonene på disse kanalene manuelt, med hensyn til hvilke luftmengder som spesifiseres for hver enkelt kanal. Det kan bidra til at dimensjoneringene for deler av ventilasjonssystemet blir feil, hvis størrelsene på ventilene ikke er dimensjonert riktig.

Å bruke beregningsfunksjonen på sanitæranlegg må gjøres med oppmerksomhet på de problemer som kan oppstå. Som for varmesystemet, vil det være viktig at rørene enkelt kan kobles til alle installasjonene. Det er også viktig å ta høyde for at tappestedene må modelleres inn og kobles til, og det må derfor vurderes hvorvidt det er fordelaktig å gjøre ekstraarbeidet med å modellere inn tappesteder, for å få gevinsten av beregningsfunksjonen. I tillegg er det en utfordring at det ikke er mulig å gjennomføre en pålitelig dimensjonering av sirkulasjonsledningen, med mindre det gjøres manuelle beregninger først. Dermed er det mange forhold som bidrar til å svekke beregningsfunksjonens effektivitet i forhold til sanitæranlegg.

6 Konklusjon

Oppgaven hadde som formål å avgjøre hvilke muligheter som var til stede for å kunne bruke beregningsfunksjonen under VVS-prosjektering, undersøke hvilke parametere som måtte ligge til grunn for å kunne gjennomføre beregningene, og vurdere nøyaktigheten og påliteligheten til programmet i forhold til de tradisjonelle metodene som benyttes i dag. Det var også av interesse å undersøke hvordan mulighetene var for å linke en 3D-modell opp mot et systemskjema.

Det ble gjennomført ved å gjøre et litteraturstudium for teorien som lå til grunn for de to forskjellige metodene, en vurdering av beregningsfunksjonens funksjonalitet ved å gjøre beregninger på et case-bygg, og en undersøkelse av mulighetene for å linke et systemskjema med en 3D-modell.

Litteraturstudiet viser at det er små forskjeller i teorien som ligger til grunn for beregningene. Det er rimelig å anta at den grunnleggende strømningsteknikken er lik, men det er forskjeller mellom metodene i hvordan trykktapet beregnes. Både friksjonstallet og støttapskoeffisientene beregnes forskjellig for de to metodene. Friksjonstallet beregnes i utgangspunktet etter samme teori, foruten forskjeller i hvordan det skilles mellom laminær og turbulent strømning, mens støttapskoeffisientene beregnes ut ifra forskjellig grunnlag, og kan dermed medføre små avvik ved trykktapsberegning.

Den mer VVS-spesifikke teorien som ligger til grunn for beregningene er forholdsvis lik for begge metodene. Det er allikevel forskjeller i beregningene knyttet til sirkulasjonsledningen til sanitæranlegget, noe som bidrar til store forskjeller i volumstrømmen i røret.

Ved å benytte beregningsfunksjonen til å dimensjonere VVS-anlegget til case-bygget, var det mulig å vurdere funksjonaliteten til funksjonen. Forsøket avdekket en rekke utfordringer som oppsto, hvor de fleste gikk ut på at det måtte gjøres små justeringer på modellen for å kunne gjennomføre beregningene. Det er i tillegg en rekke parametere som må ligge til grunn for å kunne gjøre beregningene. De mest sentrale parameterne, som også må beregnes manuelt, er luftmengdene til ventilasjonsanlegget og effektbehovet til varmeinstallasjonene. I tillegg er det nødvendig å modellere inn alle installasjonene i bygget som krever enten luft eller vann, slik at programmet har et utgangspunkt for beregning av volumstrømmen. Som nevnt i kapittel 4, er det også en rekke krav som stilles til utformingen av modellen, eksempelvis antall åpne ender på systemene, at systemene henger sammen og at det valgte systemet er konsistent for hele rør- eller kanalnettet.

Resultatene av dimensjoneringene viser at det er store forskjeller i hvor nøyaktig beregningsverktøyet er for hvert fagfelt. Sanitæranlegget har flest avvik mellom de to metodene, mye grunnet store forskjeller i beregningsmetoden som benyttes for volumstrømmen i sirkulasjonsledningen, mens beregningene på varme- og ventilasjonsanleggene hadde langt større nøyaktighet. Dette tyder på at det kan oppstå utfordringer med nøyaktigheten til programmet for sanitæranlegg, og at det kan være nødvendig å bearbeide modellen etter at beregningene er gjennomført. Dermed kan det være mest hensiktsmessig å benytte programmet til varme- og ventilasjonsanlegg, så lenge det ikke er mulig å dimensjonere sirkulasjonsledningen etter norsk standard.

Ettersom flere av utfordringene knyttet til å dimensjonere et VVS-anlegg kommer som følge av omfanget av justeringene som må gjøres både før og etter, er det naturlig at beregningsfunksjonen er best egnet til små anlegg. Det er fordi det vil være enklere å ha kontroll på feil og mangler som må utbedres i en mindre modell kontra en større modell.

Sammenlignet med de tradisjonelle metodene, er beregningsfunksjonen klart raskere i selve dimensjoneringsarbeidet, da dimensjonering av store anlegg kan gjøres på sekunder. Det er imidlertid arbeidet knyttet til å gjøre endringer på modellen, slik at det er mulig å bruke beregningsfunksjonen, som er en utfordring. Dermed kan det være hensiktsmessig å gjøre en vurdering av hvorvidt forholdene

for hvert enkelt prosjekt, tillater at kravene beregningsfunksjonen stiller til modellen, kan oppfylles uten at det må gjøres for mye ekstra arbeid. Beregningsfunksjonen er også intuitiv nok til at det vil være mulig å ta den i bruk relativt raskt.

Det vil også være gode muligheter for å koble systemskjemaet opp mot 3D-modellen, og dermed få enkel tilgang til de ønskede parameterne i systemskjemaet, samt at det vil bidra til en enklere navigasjon mellom de to visningene. Dermed vil det være mulig å lokalisere komponenter i 3D-modellen ved hjelp av den korresponderende komponenten i systemskjemaet. Det vil imidlertid være tidkrevende å legge inn hver enkelt parameter for hver enkelt komponent som det er ønskelig å overføre mellom visningene.

Sweco har innledningsvis i arbeidet opplyst at MagiCAD delvis benyttes i prosjektering av VVS-anlegg. Det anbefales derfor at MagiCAD i større grad tas i bruk til VVS-prosjektering, gitt at forbeholdene nevnt i oppgaven tas. Programvaren er ikke feilfri og må brukes med hensyn om at det kan oppstå en rekke utfordringer, men i all hovedsak vil disse utfordringene være mulig å unngå så lenge selve modelleringsarbeidet gjøres til et tilstrekkelig nivå, og tas hensyn til hvilke krav som stilles av beregningsfunksjonen.

7 Videre Arbeid

Det kan være av interesse å gjøre videre undersøkelser på nøyaktigheten til beregningsfunksjonen. Det kommer av at det kun er gjort én undersøkelse på ett bygg, og at det derfor ikke er stort nok datagrunnlag for å avgjøre nøyaktigheten til funksjonen. Det kan også være utfordrende å avgjøre hvilke avvik som kommer som følge av feil i modellen, og hva som kommer av forskjellene i metodene, og ytterligere undersøkelser kan bidra til å styrke datagrunnlaget.

Det er også verdt å merke at undersøkelsen er utført på modellen av en ambulansetasjon. Det kan derfor være hensiktsmessig å undersøke hvorvidt programvaren er egnet til bruk på andre typer bygg, eksempelvis boligbygg eller næringsbygg. Det kan bidra til å gi et mer helhetlig bilde over funksjonaliteten, samt gi en bedre forståelse av hvilke utfordringer som er særegne for dette spesifikke prosjektet, og hvilke utfordringer som er mer generell for hver bygningstype.

For å gjøre det enklere å gjennomføre beregninger på sanitæranlegget, kan det være gunstig å utforske mulighetene for å kunne benytte det norske regelverket til volumstrømsberegningen i sirkulasjonsledningen. Det kan bidra til en betraktelig reduksjon i antallet avvik mellom de to beregningsmetodene, og bidra til å redusere arbeidsmengden som må legges ned for å utbedre manglene i modellen etter at beregningene er gjennomført.

For å på best mulig måte kunne dra nytte av mulighetene for å linke 3D-modellen opp mot systemskjemaet, anbefales det at det utvikles en malfil. Dette er som følge av at målet er å kunne se parameterne til hver enkelt komponent inne i systemskjemaet, og dermed vil det være nødvendig å definere hvilke parametere som skal overføres. For hver enkelt komponenttype vil det være nødvendig å spesifisere hver enkelt parameter som det er hensiktsmessig å overføre. Det kan være meget tidkrevende, og det er dermed fordelaktig å etablere en malfil, slik at det er forhåndsbestemt hva som overføres.

Referanseliste

- ASHRAE. (2001). *2001 ASHRAE handbook : fundamentals* (SI ed.). American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Autodesk. (2024). *Autodesk Revit: BIM-programvare for design og utforming av hva som helst*. Retrieved 06.05 from <https://www.autodesk.no/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT>
- Boland, L. S. (2001). Prenøk 5.25 Varmeanlegg - Radiatoranlegg.
- Brett, T. (2019). *An Analytical Comparison of BIM based MEP Design vs Traditional 2D Design, with BIM Level 2 Implementation Considerations*. <https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1012&context=schmuldistcap>
- Forskrift om tekniske krav til byggverk, (2024). <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- Ellingsen, T. H., Kai Rune; Vognild, Inge Harald;. (1990). *Effektanalyser*. <https://publikasjoner.nve.no/diverse/1990/effektanalyser1990.pdf>
- Fläkt Group. (2023). CIRKULÄRT KANALSYSTEM VELODUCT - TEKNISK DATA. In.
- Havellen, V. (2015). *Varmenormen* (Utg. 2015. ed.). Skarland Press.
- Helseth, L. E. (2021). *Bernoulliligningen*. Store norske leksikon. <https://snl.no/Bernoulliligningen>
- Ingebrigtsen, S. (2019). *Ventilasjonsteknikk : del I*. VVS-foreningen/Nemitek.
- Ingebrigtsen, S., Zijdemans, D., Halla, H., Stähli, M. B., & Norsk, V. V. S. e.-o. m. f. (2021). *Ventilasjonsteknikk : Del II* (Utgave 01.2020. ed., Vol. Del II). VVS-foreningen/Nemitek.
- KS. (2017). *Tekniske bestemmelser : standard abonnementsvilkår for vann og avløp* (2. utg. ed.). Kommuneforl.
- Lindab. (2021). Cirkulär kanal. In: Lindab.
- MagiCAD. (2018). *MagiCAD for Revit*. https://help.magicad.com/mcrev/2018-UR-3/EN/magicad_for_revit.html?ms=AgABAAAMACYBQDBwDSAQGDA%3D&st=MA%3D%3D&st=MA%3D%3D&mw=NDc3
- MagiCAD. (2024). *MagiCAD for MEP design*. Retrieved 06.05 from <https://www.magicad.com/mep-design/>
- NVE. (2019, 09.08.2023). *Energibruk i bygg*. Retrieved 18.01 from <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/energibruk-i-bygg/>
- Regjeringen. (2023). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- SINTEF byggforsk. (2011). 553.004 *Dimensjonering av avløpsrør*. SINTEF byggforsk,. https://www.byggforsk.no/dokument/543/dimensjonering_av_avloepsroer
- SINTEF byggforsk. (2014). 753.141 *Korrosjon på sanitærinstallasjoner av kobber og messing*. SINTEF byggforsk. https://www.byggforsk.no/dokument/3159/korrosjon_paa_sanitaerinstallasjoner_av_kobber_og_messing
- SINTEF byggforsk. (2016). 473.103 *Energikrav til boligbygninger ved energiltak og omfordeling av varmetap*. SINTEF byggforsk. https://www.byggforsk.no/dokument/5165/energikrav_til_boligbygninger_ved_energitak_og_omfordeling_av_varmetap
- SINTEF byggforsk. (2017a). 421.503 *Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*. SINTEF byggforsk. https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger#
- SINTEF byggforsk. (2017b). 553.116 *Dimensjonering av rør for tappevann i bygninger*. SINTEF byggforsk,.

https://www.byggforsk.no/dokument/547/dimensjonering_av_roer_for_tappevann_i_bygninger

- Standard Norge. (2023). *Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning* (SN-NSPEK 3031:2023).
- Stensaas, L. I. (1999). *Sanitærteknikk*. Universitetsforl. https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2010070608051
- Stråby, K. W., Harald Taxt; Sørensen, Åse Lekang;. (2021). *Dimensjonering av varmtvannsrør i bygg – RESULTATER FRA PROSJEKTET VARMTVANN2030*. S. a. forlag.
- Thunshelle, K. D., Thea Marie; Holøs, Sverre; Mysen, Mads;. (2018). BIM-integrated Design tool for in-line recommended ventilation rates with Demand Controlled Ventilation strategy
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Walnum, H. T. S., Åse Lekang; Stråby, Karolina;. (2021). *Energibruk til varmt tappevann – RESULTATER FRA PROSJEKTET VARMTVANN2030*. S. a. forlag.
- Wang, H., Xu, P., Sha, H., Gu, J., Xiao, T., Yang, Y., & Zhang, D. (2022). BIM-based automated design for HVAC system of office buildings—An experimental study. *Building Simulation*, 15(7), 1177-1192. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0883-7>
- Zhao, T., Qu, Z., Liu, C., & Li, K. (2021). BIM-based analysis of energy efficiency design of building thermal system and HVAC system based on GB50189-2015 in China. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(4), 1277-1289. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab051>
- Zijdemans, D., Palm, A., Skjevraak, G., Røed, S., & Stensaas, L. I. (2014). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. Skarland press.

Vedlegg

VedleggA: Rapport Domestic Water Sizing

VedleggB: Rapport Heating/Cooling Sizing

VedleggC: Rapport Ventilation Sizing

