



ODONTOLOGI

KOLDIOXIDUTSLÄPP UTIFRÅN ELFÖRBRUKNINGEN VID DIGITALISERAD KONTRA KONVENTIONELL FRAMSTÄLLNING AV EN 3-LEDSBRO I CoCr

En experimentell studie

Annie Duberg, Alexandra Otterdahl

Examensarbete:	15 hp
Program:	Tandteknikerprogrammet
Nivå:	Grundnivå
Termin/år:	VT-2018
Handledare:	Torgny Alstad, universitetslektor, avdelningen för oral protetik och odontologisk materialvetenskap
Examinator:	Carina B Johansson, professor, avdelningen för oral protetik och odontologisk materialvetenskap

Abstract

Examensarbete:	15 hp
Program:	Tandteknikerprogrammet
Nivå:	Grundnivå
Termin/år:	VT-2018
Handledare:	Torgny Alstad, universitetslektor, avdelningen för oral protetik och odontologisk materialvetenskap
Examinator:	Carina B Johansson, professor, avdelningen för oral protetik och odontologisk materialvetenskap
Nyckelord:	CoCr, CO ₂ , utsläpp, tandteknik, fräsning, lost wax, gjutning

Inledning	Den globala uppvärmningen är ett faktum. Under ett genomsnittligt år, sett ur ett svenskt territoriellt perspektiv bidrar 1 kWh el med 13g CO ₂ utsläpp. Framställning av tandtekniska produkter är energikrävande. Inom den dentala verksamheten sker en ökad användning av digitala tekniker och många tror att det kan innebära minskad elförbrukning, men inga studier har undersökt det specifikt.
Syfte	Syftet med studien är att få en övergripande bild av CO ₂ utsläpp utifrån elförbrukningen på tandtekniska laboratorium vid framställning av en underkonstruktion i CoCr för en 3-ledsbro. Energiförbrukningen vid konventionell framställning via gjutning av CoCr skall jämföras med förbrukningen vid fräsning av CoCr inklusive digital formgivning av samma bro.
Metod	Elenergimätare användes för att mäta elförbrukningen under framställningsmomenten som ingår i de olika metoderna. Under konventionell teknik mättes momenten: Uppvaxning fem gånger, urbränning en gång, gjutning en gång, sandblästring fem gånger, tillslipning fem gånger och slutligen sandblästring fem gånger. De moment som mättes under digital teknik var: Scanning och design fem gånger, fräsning en gång, tillslipning en gång och därefter sandblästring en gång. Elenergimätaren kopplades mellan eluttag och maskin.
Resultat	Konventionell gjutning hade en sammanlagd elförbrukning på 4,326 kWh under hela framställningsprocessen vilket resulterade i ett totalt utsläpp på 56,238g CO ₂ . Den totala elförbrukning under digitalt framställd underkonstruktion resulterade i 0,318 kWh vilket motsvarar 4,134g CO ₂ .
Diskussion	Hypotesen för projektet var att den digitala framställningen skulle ha lägre elförbrukning och på så vis även vara mer miljövänlig, men resultatet förvånade med en större differens än väntat. Antagandet var att fräsningsmomentet under den digitala metoden skulle ha en relativt stor elförbrukning och att resultatet skulle visa på högre siffror. På så vis hade vi förväntat oss att urbränningen och fräsningen skulle jämnas ut resultaten mellan de båda metoderna och att differensen inte skulle vara lika stor.
Slutsats	Slutsatser som kan dras inom studiens begränsningar är att: Elförbrukningen vid digital framställning medför lägre CO ₂ utsläpp än konventionell framställning Det finns behov av fler studier inom området för att bl.a. utveckla metoder som gör det möjligt att jämföra olika tekniker mer kontrollerat.

Innehållsförteckning

Inledning	1
Behovet av att minska fossil förbränning	1
Elproduktion	1
Förbrukning av el inom tandteknisk verksamhet.....	2
Frågeställning.....	3
Syfte	3
Metod	4
Litteratursökning.....	4
Pilotprojekt.....	4
Huvudprojekt	4
Konventionell teknik.....	5
Digital teknik	5
Sammanställning av data	5
Resultat	6
Diskussion.....	8
Slutsats	10
Referenslista.....	12

Inledning

Behovet av att minska fossil förbränning

Den globala uppvärmningen är ett faktum. Mänsklig aktivitet har konstaterats som den viktigaste orsaken i den globala uppvärmningen (1). Utsläpp av växthusgaser måste minska för att uppnå de nya klimatmålen som Sveriges riksdag tog beslut om i juni 2017. ”Det långsiktiga klimatmålet innebär att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp” (2). De nya klimatmålen började gälla 1 januari 2018 och för att nå målsättningen krävs en utsläppsminskning på 5 – 8% per år. ”Att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser betyder i det här fallet att utsläppen av växthusgaser från verksamheter i Sverige ska vara minst 85% lägre år 2045 än utsläppen år 1990”. År 1990 var Sveriges utsläpp ca 70 miljoner ton CO₂e (2). Börjesson Hagberg et al. föreslår i sin rapport från 2016 att skatter på fossila bränslen kan hjälpa till att minska koldioxidutsläppen (CO₂) och nå klimatmålen (3). De nordiska länderna är ledande i världen när det kommer till förnybar energi, och tillverkningen av el från helt förnybara källor är redan 63%. Alla nordiska länder har som mål att år 2050 bli 100% fossilfria (4).

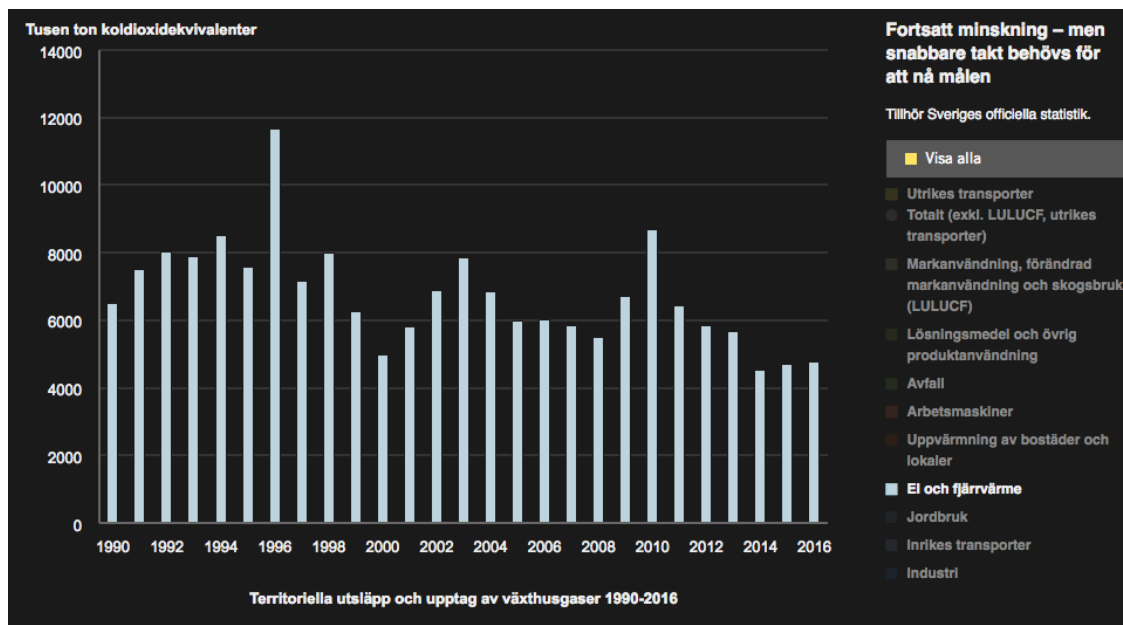
Sveriges utsläpp inom landets gränser, så kallade territoriella utsläpp, var 2016 1,6% lägre än 2015. 2016 låg växthusgasutsläppen på 52,9 miljoner ton CO₂ ekvivalenter (CO₂e) (2). I förhållande till CO₂ räknas olika växthusgaser om till CO₂e baserat på en global uppvärmningspotential (GWP) för att få jämförbara siffror mellan de olika växthusgaserna (*se figur 1*) (5). 4,8 miljoner ton av de totala utsläppen samma år kom från el- och fjärrvärmeproduktionen (2).

Omräkningstabell	
Växthusgas	Uppvärmningspotential (GWP)
CO ₂ (koldioxid)	1
CH ₄ (metan)	25
N ₂ O (dikväveoxid)	298

Figur 1- Omräkningstabell CO₂e. Naturvårdsverket (5)

Elproduktion

Elanvändningen i Sverige är väldigt väderberoende och kan därför skilja sig väldigt mycket från år till år. Vädret påverkar framförallt användningen av el och olika sorters energi. Olika väderförhållanden som kan påverka ett ”normalår” är bland annat solinstrålning, temperatur utomhus, nederbörd eller vindförhållanden. De åren då vädret är kallare än normalår eller när nederbörden är liten ökar användningen av fossila bränslen för att kompensera bortfall från vattenkraften eller komplettera för uppvärmning. Detta i sin tur medför att CO₂ utsläppen även ökar under dessa omständigheter (2). 2015 – 2016 hade utsläppen från el och fjärrvärmeproduktion ökat med 2% vilket kan kopplas till väderomständigheterna och att kärnkraft behövdes som kompletterande energikälla (*se figur 2*) (6).



Figur 2 – Territoriella utsläpp från el och fjärrvärme. Naturvårdverket (6)

I Sverige består vår elproduktion till största delen av vattenkraft, kärnkraft, biobränslen och även vindkraft. Trots det bidrar vi med ett genomsnittligt utsläpp på 5,3 ton CO₂ ekvivalenter/person jämfört med ungefär 12 ton/person i andra länder där kol är en stor energikälla. Huvudfaktorn i Sveriges utsläppsminskning har berott till stor del på investeringar i infrastruktur, skatter på energi och koldioxidutsläpp och det har skett parallellt med en ekonomisk tillväxt i landet (2). Sverige använder el till stor del för uppvärmning och det finns stora möjligheter att ersätta dagens elförbrukning. Om andra energiresurser, som biobränsle, kunde ersätta uppvärmningen i Sverige skulle överflödig ren el kunna exporteras till länder med högre CO₂ utsläpp. På så vis skulle det resultera i ett lägre totalt CO₂ utsläpp i Europa (7).

Under ett genomsnittligt år sett ur ett svenskt territoriellt perspektiv bidrar 1 kWh el med 13g CO₂ utsläpp. Detta kan jämföras med OECD-länderna (Organisation for Economic Co-operation and Development) totalt där 1 kWh producerar 432 g CO₂ (8).

Förbrukning av el inom tandteknisk verksamhet

Framställning av tandtekniska produkter är idag energikrävande med en hög elförbrukning till följd av stora och små eldrivna maskiner som ingår i framställningsprocessen. Inom den dentala verksamheten sker en ökad användning av digitala tekniker och det finns viss spekulation att det kan innebära minskad elförbrukning, men inga studier har undersökt det specifikt.

Additiv, subtraktiv och formativ metod är de tre olika metoderna som används för framställning av protetiska konstruktioner i CoCr. Fräsning är en subtraktiv metod (9), gjutning är en formativ och en variant av additiv metod är "Direct metal laser sintering" (10).

Den konventionella, även kallad formativa, framställningsmetoden är gjutning och då skapas först konstruktionen i vax som sedan ska gjutas i metall. Med gjutkanaler placeras vaxmodellen i en kyvett och bäddas in med inbäddningsmassa. Vaxet bränns ur och inbäddningsmassan expanderar i en urbränningsugn. Metallegeringen värms upp innan kyvetten placeras i gjutapparaten där den smälta legeringen sedan fyller hålrummet. Den gjutna konstruktionen kyls sedan ner enligt tillverkarens rekommendationer (11).

Fräsning är en form av subtraktiv framställningsmetod som innebär att en konstruktion blir fräst i prefabricerade block av metall eller keram efter att konstruktionen designats digitalt (9).

”Direct metal laser sintering” är en variant av additiv framställning. Konstruktionen är på detta sätt uppbyggd i lager genom att smälta samman metallpulver. Maskinen applicerar ett tunt lager metallpulver i taget och en laserstråle smälter samman pulvret exakt efter den digitala designen(10).

Framställning av protetiska konstruktioner inom tandvården är energikrävande oavsett vilken framställningsmetod som används. År 2016 gjordes ca 450 000 dentala kronor inom tandvården varav ca 250 000 gjordes på flera tänder i samma käke. Samtidigt gjordes broar med ca 100 000 hängande led vilket leder till en genomsnittlig bro med en hängande och 2,5 stöd (12). Detta är den vanligaste åtgärden inom protetikområdet. Studien utgår därav från en 3-ledsbro. Med den siffran i åtanke är det viktigt att få ner elförbrukningen under framställning av protetiska konstruktioner.

I denna analys läggs inte fokus på att mäta CO₂ utsläpp under andra händelser runt framställningen som transport av material, förpackningar av konstruktioner under transport eller utvinning av metaller etc. Studien avser inte heller att jämföra metallernas egenskaper efter framställningen av 3-ledsbroarna.

Frågeställning

Kan den tandtekniska verksamheten minska utsläppen genom att använda sig av digital framställning istället för konventionell framställning?

Frågeställningen baseras på den ökade digitaliseringen inom tandteknik. Samtidigt saknas det övergripande forskning om miljöaspekter med den digitala framställningstekniken. Hypotesen är att den digitala framställningstekniken är fördelaktig framför den konventionella ur en miljöaspekt utifrån det faktum att tekniken innehåller färre energikrävande moment i tillverkningen.

Syfte

Syftet med studien är att få en övergripande bild av CO₂ utsläpp utifrån elförbrukningen på tandtekniska laboratorium vid framställning av en underkonstruktion i CoCr för en 3-ledsbro. Energiförbrukningen vid konventionell framställning via gjutning av CoCr skall jämföras med förbrukningen vid fräsning av CoCr inklusive digital formgivning av samma bro.

Metod

Litteratursökning

Litteratursökning genomfördes 2018 – 02 – 07 med hjälp av sökmotorerna Scopus, google scholar och Pubmed. De sökord som användes var: *Sweden, electricity, emissions, CO₂, dental, bridge, additive, subtractive, technique*. De användes i olika kombination med varandra. Pubmed gav 10 träffar, Scopus 203st. Google scholar gav över 100 000 sökresultat på de olika framställningsteknikerna. De senast utgivna artiklarna valdes för att få mest relevant beskrivning av teknikerna. Begränsningar gjordes till att enbart granska artiklar från 2003–2018 för största relevans. Även Naturvårdsverkets hemsida användes för litteratursökning där en rapport från november 2017 hittades.

Pilotprojekt

Ett pilotprojekt genomfördes innan den riktiga studien påbörjades. Mätningar av elförbrukning under scanning och design av en 3-ledsbro samt fräsning av den designade konstruktionen utfördes. Pilotprojektet visade att experimentet var genomförbart och att mätningarna gav jämförbara siffror. Projektplanen till denna studie avsåg initialt att mäta tidsåtgång och elförbrukning mellan två olika fräsblock, (*CopraSintec Solid K, Whitepeaks Dental Solutions GmbH H Co. KG, Tyskland*) och (*Starbond Easy Disc Whitepeaks Dental Solutions GmbH H Co. KG, Tyskland*), kontra konventionell gjutning. Det togs beslut under arbetets gång att exkludera (*CopraSintec Solid K*) från studien med anledningen av stora problem som uppstod under fräsningen. En projektplan konstruerades (se bilaga 1) efter genomförande av pilotprojektet.

Huvudprojekt

En experimentell studie genomfördes för att mäta elförbrukningen under framställning av underkonstruktionen till en 3-ledsbro i CoCr, exkluderat porslinsbränning. Projektet jämförde konventionell framställningsmetod via gjutning, kontra digitalt designad och fräst.

Elenergimätare *PM498 (Clas Ohlson)* användes till att mäta kWh under framställningsmomenten som ingår i de olika metoderna. Antal gånger varje moment utförades bestämdes i överenskommelse med handledare på grund av brist av standardisering eller tidigare studier. Under konventionell teknik mättes momenten:

- Uppvaxning fem gånger
- Urbränning en gång
- Gjutning en gång
- Sandblåstring fem gånger
- Tillslipning fem gånger
- Sandblåstring fem gånger.

Konventionell Teknik



Digital Teknik



Figur 3 - Övergripande bild av studiens moment (13-19)

De moment som mättes under digital teknik var:

- Scanning/ design fem gånger
- Fräsning en gång
- Tillslipning en gång
- Sandblästring en gång.

Elenergimätaren kopplades mellan eluttag och maskin. Studien hade för avsikt att mäta elförbrukningen under de moment som kan påverkas av mänsklig faktor fem gånger för att öka säkerheten i resultatet. De moment där mänsklig faktor ej kan påverka tid och resultat testades endast en gång. I *figur 3* visas en överblick över de olika momenten.

Konventionell teknik

Gipsmodell med preparationer på 25²⁶27 användes under uppvaxning av underkonstruktion med elvaxkniv (*Waxlectric II, Renfert, Germany*). Samma gipsmodell användes för att vaxa upp underkonstruktionerna fem gånger.

Därefter applicerades gjutkanaler buckalt på alla fem vaxbroarna och bäddades in med (*Mega Speed, Giuliani, Karana Ädelmetall*) inbäddningsmassa. Stelning skedde enligt fabrikantens anvisningar och kyvetten placerades i urbränningsugn (*Warmy 7, Manfredi, Italy*). Elförbrukningen mättes från kall ugn till fullbordad urbränning.

Alla underkonstruktioner göts med CoCr legeringen (*MagmaLoy, M-TEC[®], SRL Dental GmbH, Germany*) i gjutapparat (*Fortnax T, Bego, Germany*). Mätning av elförbrukningen utfördes endast under gjutning av en underkonstruktion. Denna underkonstruktion bäddades in i en enskild kyvett och gjöts enskilt för att få så jämförbara resultat som möjligt med den digitalt framställda.

Blästring genomfördes i en (*Renfert, Basic Quattro, Germany*) med Alox 110 μ under 2,5 bar. Elenergimätaren kopplades både mellan bläster samt dammsugare kopplad till utsuget. Mätning under tillslipning av alla fem underkonstruktioner utfördes. Elförbrukningen mättes på både handstycke, (*EWL K9, KaVo Elektrotechnisches Werk GmbH, Germany*) och utsug (*Renfert, Silent Compact, Germany*). Efter tillslipning blästrades underkonstruktionerna ännu en gång med Alox 110 μ med samma tryck som ovan.

Digital teknik

Samma gipsmodell som användes vid konventionell teknik användes även under digital teknik. Elenergimätaren kopplades till dator, skärm och scanner. Gipsmodellen scannades och designades fem gånger med scanner, (*D710 3-shape, Tyskland*). Elförbrukningen mättes under hela förloppet.

En av underkonstruktionerna som designats frästes i (*Starbond Easy Disc,)* med fräs (*K5 Impression, VHF Camfacture AG, Germany*) under mätning av elförbrukning.

Tillslipning av underkonstruktionen utfördes och mätning av elförbrukningen gjordes på både handstycke och utsug. Underkonstruktionen blästrades med Alox 110 μ under 2,5 bar. Elenergimätaren kopplades både mellan bläster samt dammsugare kopplad till utsuget.

Sammanställning av data

De moment som utförts fem gånger omräknades till ett medelvärde. kWh omvandlades till CO₂ utsläpp genom att multipliceras med siffran 13 enligt statistiken från Energiföretagen (8). Framställningsmomentens resultat adderades till varandra för att ge en total siffra på CO₂ utsläpp under hela framställningen.

Resultat

Konventionellt gjuten underkonstruktion hade en framställningsprocess innehållande sex olika moment. Elförbrukningen under uppvaxningen hade ett medelvärde på 0,008 kWh vilket omräknades till 0,104g CO₂ utsläpp. Urbränningen mättes till 4,13 kWh och 53,69g CO₂ utsläpp. Själva gjutningen i sig hade en elförbrukning på 0,03 kWh vilket motsvarar 0,39g CO₂. Den första blästringen hade ett medelvärde på 0,036 kWh vilket bidrog till 0,468g CO₂. Tillslipning av underkonstruktionen hade ett medelvärde på 0,112 kWh och 1,456g CO₂. Den andra blästringen hade ett medelvärde på 0,01 kWh och omräknades till 0,13g CO₂. Konventionell gjutning hade en sammanlagd elförbrukning på 4,326 kWh (Se tabell 1) under hela framställningsprocessen vilket resulterade i ett totalt utsläpp på 56,238g CO₂ (se tabell 2). Den totala tidsåtgången resulterade i 4h och 29min.

Den digitalt framställda underkonstruktionen innehöll fyra olika moment i framställningsprocessen. Elförbrukningen under scanning samt design hade ett medelvärde på 0,068 kWh och 0,884g CO₂. Fräsningen av underkonstruktionen hade en elförbrukning på 0,2 kWh vilket omräknas till 2,6g CO₂. Tillslipning bidrog med 0,04 kWh i elförbrukning vilket bidrar till 0,52g CO₂. Det sista steget i framställningen, blästring, hade en elförbrukning på 0,01 kWh vilket motsvarar 0,13g CO₂. Den totala elförbrukning under digitalt framställd underkonstruktion resulterade i 0,318 kWh (se tabell 3) vilket motsvarar 4,134g CO₂ (se tabell 4). Den totala tidsåtgången resulterade i 2h och 27min.

Tabell 1- Elförbrukning konventionell teknik

	Uppvaxning	Urbränning	Gjutning	Blästring	Tillslipning	Blästring
Nr1	0,01 kWh (54min)	4,13 kWh (3h 12min)	0,03 kWh (3min)	0,04 kWh (3min 43sek)	0,12 kWh (16min 40sek)	0,01 kWh (1min 12sek)
Nr2	0,01 kWh (1h 3min)			0,04 kWh (3min 24sek)	0,11 kWh (16min 8sek)	0,01 kWh (1min 6sek)
Nr3	0,00 kWh (41min)			0,03 kWh (3min 8 sek)	0,11 kWh (15min 48sek)	0,01 kWh (1min 9sek)
Nr4	0,01 kWh (1h 2 min)			0,04 kWh (3min 34 sek)	0,11 kWh (16min 14sek)	0,01 kWh (1min 7sek)
Nr5	0,01 kwh (50 min)			0,03 kWh (3min 1 sek)	0,11 kWh (15min 29sek)	0,01 kWh (1min 3sek)
Total	Medelvärde: 0,008 kWh	4,13 kWh	0,03 kWh	Medelvärde: 0,036 kWh	Medelvärde: 0,112 kWh	Medelvärde: 0,01 kWh

Total: 4,326 kWh

Tabell 2 - CO₂ utsläpp konventionell teknik

	Uppvaxning	Urbränning	Gjutning	Blästring	Tillslipning	Blästring
Nr1	0,13g Co ₂	53,69g Co ₂	0,39g Co ₂	0,52g Co ₂	1,56g Co ₂	0,13g Co ₂
Nr2	0,13g Co ₂			0,52g Co ₂	1,43g Co ₂	0,13g Co ₂
Nr3	0,0g Co ₂			0,39g Co ₂	1,43g Co ₂	0,13g Co ₂
Nr4	0,13g Co ₂			0,52g Co ₂	1,43g Co ₂	0,13g Co ₂
Nr5	0,13g Co ₂			0,39g Co ₂	1,43g Co ₂	0,13g Co ₂
Total	Medelvärde: 0,104g Co ₂	53,69g Co ₂	0,39g Co ₂	Medelvärde: 0,468g Co ₂	Medelvärde: 1,456g Co ₂	Medelvärde: 0,13g Co ₂

Total: 56,238gCO₂

Tabell 3 - Elförbrukning digital teknik

	Scanning/Design	Fräsning	Tillslipning	Blästring
Nr1	0,06 kWh (21min)	0,2 kWh (1h 56min)	0,04 kWh (6min 17sek)	0,01 kWh (59sek)
Nr2	0,07 kWh (23min)			
Nr3	0,09 kWh (32min)			
Nr4	0,06 kWh (20min)			
Nr5	0,06 kWh (25min)			
Total:	Medelvärde: 0,068 kWh	0,2 kWh	0,04 kWh	0,01 kWh

Total: 0,318 kWh

Tabell 4 - CO₂ utsläpp digital teknik

	Scanning/Design	Fräsning	Tillslipning	Blästring
Nr1	0,78g CO ₂	2,6g CO ₂	0,52g CO ₂	0,13g CO ₂
Nr2	0,91g CO ₂			
Nr3	1,17g CO ₂			
Nr4	0,78g CO ₂			
Nr5	0,78g CO ₂			
Total:	Medelvärde: 0,884g CO ₂	2,6g CO ₂	0,52 CO ₂	0,13 CO ₂

Total: 4,134g CO₂

Diskussion

Studiens syfte var att undersöka om det finns fördelar för miljön med en digitaliserad framställning på tandtekniska laboratorier kontra konventionell framställning med hänsyn till elförbrukning. Resultatet visade på en tydlig fördel med den digitala framställningen. Det är ytterst relevant i dagens samhälle att studera CO₂ utsläpp inom alla sektorer. Det finns bara ett jordklot och alla sätt att minska miljöförstöring måste utforskas och förbättras. Denna studie är därför viktig ur ett etiskt perspektiv för att öka insikten om de problem tandteknisk verksamhet kan ha för miljön. Idag finns inga studier inom dentalvärlden som undersöker CO₂ utsläpp, men det är viktigt att alla bidrar till en utsläppsminskning när det gäller den globala uppvärmningen. Därför är det också viktigt att fler studier genomförs. Den största vinsten med studien är den ökade medvetenheten som skapas inom branschen och eventuellt det ökade intresset för vidare forskning.

Det framställningsmoment som påverkade resultatet mest var urbränningen, se tabell 1, vid framställningen av den konventionellt uppvaxade underkonstruktionen. Hypotesen för projektet var att den digitala framställningen skulle ha lägre elförbrukning och på så vis även vara mer miljövänlig, men resultatet förvånade med en större differens än väntat. Att urbränningsugnen var det moment under konventionell metod som skulle ha störst elförbrukning var något som förväntades, men inte att siffran skulle bli så hög. Förväntningar var att urbränningen och fräsningen skulle jämma ut resultaten mellan de båda metoderna och att differensen inte skulle vara lika stor. Något som däremot behöver tas i beräkning är att det finns möjlighet att placera fler konstruktioner i samma kyvett och även bränna ur fler kyvetter samtidigt vilket kan minska den totala elförbrukningen per konstruktion med konventionell metod. Möjlighet finns också att fräsa fler konstruktioner samtidigt i samma block, men fräsmomentet tar då längre tid vilket i sin tur även resulterar i en högre elförbrukning och vidare högre CO₂ utsläpp.

Under denna studie fanns inte möjlighet att mäta elförbrukning på kompressorn som förser fräsen med tryckluft. Detta på grund av att kompressor ej fanns i direkt anslutning till den fräs som använts och i sin tur också förser mer än bara fräsen med tryckluft. En del antaganden har därför gjorts för att få en övergripande inblick i hur mycket tryckluften kan bidra till resultatet. Det valdes att utgå ifrån en kompressor från *Jun-Air* med modell *OF302-25B 8 bar*. Denna kompressor har en motoreffekt på 0,44kW och bidrar med ett genomsnitt av 45 liter luft/min under 7 bars tryck, vilket är den mängd luft som fräsen kräver. Fräsningen av underkonstruktionen tog 1h och 56 min vilket resulterar i att kompressorn hade haft en elförbrukning på 0,85 kWh (1h = 0,44kWh, 56min = 0,41kWh). En elförbrukning på 0,85kW bidrar i sin tur med 11,05g CO₂ utsläpp. Det skulle ge den digitala framställningstekniken ett totalt utsläpp på 15,18g CO₂. Kompressorn bidrar därmed med den överlägset största elförbrukningen under den digitala framställningstekniken. Däremot påverkar det inte det slutgiltiga resultatet och skillnaderna mellan teknikerna är fortfarande väldigt stora.

En annan faktor som påverkade resultatet mellan de båda metoderna var den första blästringen som genomfördes på den konventionellt framställda underkonstruktionen. Elförbrukningen under det momentet var relativt hög vilket i sin tur också resulterar i en fördel med den digitalt framställda underkonstruktionen där ingen inbäddningsmassa behöver blästras bort. Det fanns inte heller möjlighet att mäta tryckluften under blästringen med samma anledning som ovan. Då information om mängden luft som blästern kräver under 2,5 bar tryck ej finns att tillgå har uträkning av hypotetisk elförbrukning under detta moment ej genomförts. Avsaknaden av denna uträkning påverkar resultatet men inte slutsatserna.

Något annat som togs i beaktning under tillslipning av den frästa underkonstruktionen var att den framstod vara lättare att tillslipa än den gjutna konstruktionen. Den främsta anledningen till att tidsåtgången och på så vis även elförbrukningen var mindre under tillslipningsmomentet på den frästa

var att passformen var näst intill perfekt direkt efter fräsning vilket sparar mycket tid och arbete. En annan faktor som kan påverka resultatet är vilken modell och vilket fabrikat av de olika maskiner som används under framställningen. Detta påverkar också det slutgiltiga resultatet och utsläppsnivån. Troligtvis är effekten på exempelvis urbränningsugnar snarlika varandra, men en viss differens förekommer sannolikt. En annan trolig faktor som kan påverka resultatet är även åldern på den urbränningsugn som används.

En studie som vore mer relevant hade varit att jämföra elförbrukningen mellan två digitala tekniker exempelvis subtraktiv metod så som fräsning kontra additiv metod i form av lasersintring. Detta med tanke på att den konventionella tekniken mer och mer ersätts av digitala framställningstekniker. Under denna studie undersöktes endast formativ och subtraktiv metod på grund av att tillgång till utrustning för additiv metod saknades, men även en begränsad tidsram bidrog till att en begränsning behövde göras. Syftet var att jämföra digital kontra konventionell framställning och utifrån detta valdes en av de digitala metoderna. Framtida studier krävs för att undersöka vilken av alla tekniker som är att föredra ut en miljösynpunkt.

Under denna studie utfördes alla moment på ett tandtekniskt laboratorium med tillgång till egen fräs. Att investera i en egen fräs är dock en stor kostnad som en del labb eventuellt inte har råd med. Därav kan i de fallen den ekonomiska fördelen med att skicka till externa fräscenter föredras. Vissa tandtekniska laboratorium väljer även att beställa konstruktioner från Kina (20) och andra länder. CO₂ utsläppen och påverkan på miljön kan bli större under de omständigheterna. Beslut togs om att inte undersöka miljöpåverkan under transport eller frakt vid beställning av konstruktioner utan enbart mäta elförbrukningen och CO₂ utsläpp vid framställning under samma tak. Vidare studier om miljöpåverkan vore intressant angående transporter av tandtekniska material.

Skillnaden i tidsåtgången mellan de två olika teknikerna var även den ganska stor. Den konventionella tekniken tog totalt 4h 29 min medan den digitala tekniken tog 2h och 27 min. Denna anledning kan också påverka att en del tandtekniker föredrar den digitala tekniken för att det är mer tidseffektivt. Däremot endast om egen fräs finns tillgänglig på labbet. Vid de tillfällen som konstruktioner beställs externt kan det ta flera dagar för ordern att komma tillbaka.

Denna studie genomfördes utan någon standard att följa och resultaten som framkom kan därför inte jämföras med tidigare forskning men syftet har varit att jämföra två olika metoder och inte att inkludera alla moment som krävs för en färdig produkt. För att i framtiden få mer säkra resultat krävs mer forskning och att en standardisering av bland annat omvandlingen från elförbrukning till koldioxidutsläpp utförs för att kunna jämföra mellan olika studier.

Alla moment som ingår i studien har genomförts av studenter. Tidsåtgången och CO₂ utsläpp under tillverkning kan därför skilja sig mot erfarna tandtekniker. För att minimera felkällor har en av studenterna utfört samma moment under båda framställningsteknikerna. Bland annat så utförde en av studenterna all uppvaxning och tillslipning medan den andra studenten utförde all digital design och blästring. En annan källa som kan ha påverkat siffrorna i resultatet är elenergimätarna som endast visar kWh ner till en tiondels decimal. Vid vidare forskning är det en klar fördel med användande av en elenergimätare som visar fler decimaler för en mer exakt uträkning. Ett exempel från denna studie är uppvaxningen från den konventionella metoden. Uppvaxningen av den tredje underkonstruktionen var den som hade minst tidsåtgång på 41 min och elenergimätaren visade då 0,00 kWh. Givetvis är inte det faktiska utsläppet 0g CO₂ under 41min användning av en elvaxkniv, men utan fler decimaler på elenergimätaren ökar det svårigheten att få ett mer exakt resultat. Visserligen är differensen mellan 0,00 kWh och 0,01 kWh enbart 0,13g CO₂ vilket inte ändrar resultaten i denna studie påtagligt. Dock kan det i en större studie kan det ge en missvisande bild av det totala resultatet.

Fräsblocket *CopraSintec Solid K*, som uteslöts ur studien, är en legering med lägre hårdhet på vickersskalan än den som normalt används. Tillverkaren *White Peaks* påstod att det skulle upp till

halvera frästiden jämfört med vanliga CoCr-fräsblock (21) vilket hade varit en fördel för miljöpåverkan ur ett elförbrukningsperspektiv. Anledningen till uteslutandet av detta material var på grund av diverse olika problem som uppstod under fräsmomentet vilket resulterade i att fräsen överhettades och inte kunde fortsätta användas i studien. Denna studie visar på en klar fördel med den digitala tekniken men trots detta är nya material och program som minskar miljöpåverkan önskvärda. I framtiden vore det intressant att testa material som *CopraSintec Solid K*. Om nya tekniker och nya material blir tillgängliga är det möjligt att fördelen med den digitala tekniken kan bli ännu större. Det är viktigt att en fortlöpande granskning av nya material och metoder sker för att ständigt kunna välja det mest fördelaktiga ur miljöhänseende.

Under momenten tillslipning och blästring av de fem konventionellt gjutna underkonstruktionerna gav mätningarna minimal differens i kWh. Därav beslöts i samråd med handledare att tillslipning och blästring av den digitalt framställda underkonstruktionen endast skulle mätas och dokumenteras en gång med hänsyn till ekonomin.

Vid omräkningen av kWh till CO₂ utsläpp användes Energiföretagen som källa (8). Energiföretagen har medlemmar från ca 400 elleverantörer och distributörer. Utifrån dessa medlemmars statistik har det sammanställts en generell uträkning av CO₂ utsläpp per år. Enligt Energiföretagen har Sverige ett utsläpp på ca. 13g CO₂/kWh under ett normalår. Studien valde att utgå ifrån 2014 års siffror då de var de senaste dokumenterade. Tidigare har beräkningar på CO₂ utsläpp gjorts enligt 20g/kWh och initialt i vår studie utgick vi ifrån detta. Då utvecklingen ständigt går framåt framkom under studiens gång nya beräkningar över CO₂ utsläpp och det valdes att istället utgå ifrån dessa för att få ett så aktuellt resultat som möjligt. Det finns dock olika uträkningar och siffror över CO₂ utsläppen utifrån elförbrukning. Exempelvis har www.electricitymap.org en uträkning på 38g CO₂e/ kWh (22). Naturvårdsverket beräknade att elförbrukningen i hela Norden hade ett utsläpp på 125g CO₂e/ kWh (23). Det var svårt att under studien veta exakt hur de olika företagen kommit fram till sina siffror och vilka olika parametrar som spelar in i resultaten vilket gjorde det svårt att veta vilka siffror som var mest lämpliga. Den siffra som använts under denna studien är väldigt låg, 13g, jämfört med exempelvis 125g. Naturvårdsverket och Electricity map har gjort uträkningar där de inte bara använt sig av utsläppen från CO₂ utan även resterande växthusgaser och på så sätt framkommit till ett resultat i CO₂e. Detta kan vara en av anledningarna till att deras uträkningar är högre än den från Energiföretagen. Exempelvis har metan (se figur 1) 25 gånger högre påverkan på globala uppvärmningen jämfört med CO₂. Då en begränsning har gjorts i denna studie att enbart undersöka utsläppen från CO₂ utsläppen, var det svårt att applicera ovanstående siffror i denna studie. En annan anledning till att Naturvårdsverket inte valdes som slutgiltig referens var på grund av att deras uträkning innefattar hela Norden och denna studie valde att göra en begränsning i att enbart applicera resultatet på Sverige. Oavsett vilken siffra som väljs att användas för att räkna ut CO₂ utsläpp kommer resultaten från denna studie fortfarande vara parallella mot varan och slutsatsen förbli den samma.

Resultatet anses som trovärdigt eftersom differensen är så stor, den digitala metoden ger inklusive tryckluft, 27 % jämfört med konventionella metoden utsläpp. Digital framställningsmetod är med stor sannolikhet mer miljövänlig ur ett elförbrukningsperspektiv.

Slutsats

Slutsatser som kan dras inom studiens begränsningar är att:

- Elförbrukningen vid digital framställning medför lägre CO₂ utsläpp än konventionell framställning
- Det finns behov av fler studier inom området för att bl.a. utveckla metoder som gör det möjligt att jämföra olika tekniker mer kontrollerat.

Tack

Vi vill rikta ett stort tack till Tongy Alstad för bra och givande handledning.

Vi vill även tacka Mälarlabbet och JM Dentallab som hjälpt oss under studien med tid, material och tålamod.

Referenslista

- 1 IPCC. Climate Change 2014 Synthesis Report. 2014. [Interet] [2018-04-21] Hämtad från: <https://static.rasset.ie/documents/news/climatechangereport.pdf>
- 2 Naturvårdsverket. Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2017. [Internet]. Stockholm: Naturvårdsverket; 2017 [2018-04-21]. Hämtad från: <http://www.naturvardsverket/Publikationer/ISBN/6700/978-91-620-6782-3/>
- 3 Börjesson Hagberg M, Pettersson K, Ahlgren EO. Bioenergy futures in Sweden - Modeling integration scenarios for biofuel production. Energy. 2016;109:1026-39.
- 4 Sovacool BK. Contestation, contingency, and justice in the Nordic low-carbon energy transition. Energy Policy. 2017;102:569-82.
- 5 Naturvårdverket. Koldioxidekvivalenter. [Internet]. Stockholm: Naturvårdverket; 2017[2018-04-21]. Hämtad från: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>
- 6 Naturvårdsverket. Terriotoriella utsläpp och upptag av växthusgaser. [Internet] Stockholm: Naturvårdverket;2018 [2018-02-07]. Hämtad från:<http://www.naturvardsverket.se//klimatutslapp>.
- 7 Carlson A. Energy systems and the climate dilemma Reflecting the impact on CO2 emissions by reconstructing regional energy systems. Energy Policy. 2003;31(10):951-9.
- 8 Energiföretagen. Klimatpåverkan och växthusgaser. [Internet]. Stockholm: Energiföretagen; 2017 [2018-04-21]. Hämtad från: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/miljo-och-klimat/elen-och-miljon/klimatpaverkan-och-vaxthusgaser/>
- 9 Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. Int J Dent. 2014;2014:783948
- 10 Grünberger T, Domröse R. Direct metal laser sintering. Laser Technik Journal. 2015;12(1):45-8.
- 11 Anusavice KJ, Shen C Rawls H, redaktörer. Phillips' Science of Dental Materials. 12 uppl. St Louis Elsevier; 2014.
- 12 Försäkringskassan. Statistik om tandvård. Antal åtgärder per år och dess medinpriser, 2009-. [Internet]. Stockholm: Försäkringskassan; 2018 [2018-04-21]. Hämtad från: <https://www.forsakringskassan.se/statistik/ovrigaersatt/tandvard>
- 13 ZiroDent. Renfert Waxelectric light II. [Bild på elvaxkniv]. 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://www.zirodent.de/gebrauchte-dentalgeraete/index.php/en/Renfert-Waxelectric-light-II/c-KAT146/a-P1146>
- 14 Medical Expo. Heating furnace [bild på urbränningsugn]. 2018. [2018-05-24]. Hämtad från: <http://www.medicalexpo.com/prod/manfredi/product-69179-474668.html>

- 15 Bego. Fortnax T [Bild på gjutapparat] 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://www.bego.com/conventional-solutions/devices/preheating-and-casting/product/Product/show/144/>
- 16 Kodent Dental Supply. Basic quattro is-two tank [Bild på sandbläster]. 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://stores.kodentdentalsupply.com/basic-quattro-is-two-tank-sandblasting-unit/>
- 17 Kavo. K-ERGOgrip [Bild på handstycke]. 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://www.kavo.se/SE/Produkter/Lab-produkter/K-ERGOgrip-Handstycke.aspx>
- 18 Medical Expo. D900 Scanner by 3shape [Bild på scanner]. 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://trends.medicalexpo.com/project-45644.html>
- 19 Denpro. K5 Impression [Bild på fräs]. 2018 [2018-05-24]. Hämtad från: <http://www.denproshop.lt/en/cad-cam-solutions/k5-impression-5-axis-milling-machine.html>
- 20 Kneissl L, Modre C. Dental Laboratory Crisis: How is Chinese competition affecting the Swedish dental industry? [Examensarbete på internet]. Jönköping; Högskolan I Jönköping 2017.
- 21 Whitepeaks. Metal & Alloys. CopraSintec Solid K. [Internet]; Tyskland 2018-05-24. Hämtad från: <http://www.white-peaks-dental.com/en/produkt-details/coprasintec-solid-k>
- 22 Electricity Map. Klimatpåverkan per region. [Internet]; Copenhagen 2018-05-24. Hämtad från: <https://www.electricitymap.org/?page=map&solar=false&remote=true&wind=false>
- 23 Naturvårdsverket. Vägledning i klimatklivet- beräkna utsläppsminskning. [Internet]. Stockholm: Naturvårdverket; 2017 [2018-05-24]. Hämtad från: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/bidrag-och-ersattning/bidrag/klimatklivet/vagledning-utslapp-klimatklivet-20170810.pdf>

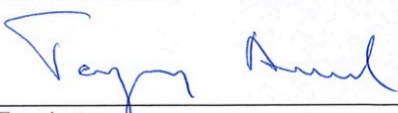


GÖTEBORGS UNIVERSITET
SAHLGRENSKA AKADEMIN

Tandteknikerprogrammet 180 hp

TTEX20 Examensarbete, grundnivå 15 hp

PROJEKTPLAN

Titel: Miljöfördelar med en digitaliserad framställning av tandtekniska produkter- en studie av beräknade koldioxidutsläpp		
Försöksledare: Alexandra Otterdahl, Annie Duberg		
Huvudhandledare: Torgny Alstad		
Övriga deltagare:		
Sammanfattning av studien: En jämförande studie av beräknat koldioxidutsläpp (CO ₂) utifrån elförbrukningen vid framställning av en underkonstruktion till en treledsbro. Studien jämför konventionell framställning med vaxmodell och gjutning i Kobolt-Krom (CoCr), kontra digital design och fräsning av två olika sammansättningar av CoCr. "Cast, hard CoCr" och "Hard milling co/cr sintering metal". Skillnaden mellan de två fräsmetallerna är att den senare skall ha 50% snabbare fräsningsstid. Samtliga moment från det att arbetet kommer in till laboratoriet till dess att arbetet är slutfört kartläggs. De moment som omfattar praktiska moment för tandteknikern görs 5 gånger. De som utförs av maskiner genomförs bara en gång. Den sammanlagda åtgången av elektricitet omvandlas i slutet till ett tänkt koldioxidutsläpp.		
Datum för godkännande: 2018-02-19	Huvudhandledare 	Version nr: 2
Datum för godkännande: 2018-02-21	Examinator 	Datum och anledning till revision:

Bakgrundsinformation:

Den globala uppvärmningen är ett faktum.

Mänsklig aktivitet har observerats som den dominerande faktorn i den globala uppvärmningen.

Utsläpp av växthusgaser måste minska för att uppnå de nya klimatmål som Sveriges riksdag tog beslut om i juni 2017. "Det långsiktiga klimatmålet innebär att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp." I Sverige består största delen av vår energitillverkning av vattenkraft, kärnkraft, biobränslen men även vindkraft. Men trots det bidrar vi med ett genomsnittligt utsläpp på 5,3 ton i koldioxidkvivalenter (CO₂e) per person jämfört med ungefär 12 ton/person i andra länder där istället kol är en stor energikälla. Under ett genomsnittligt normalår sett ur ett svenskt territoriellt perspektiv bidrar 1 kwh elektricitet med 20g CO₂ utsläpp. 2016 låg växthusgasutsläppen på 52,9 miljoner ton CO₂e. 4,8 miljoner ton av de totala utsläppen samma år kom från el- och fjärrvärmeproduktionen. Elanvändningen i Sverige är väldigt väderberoende och kan därför skilja sig väldigt mycket år till år. De åren då vädret är kallare än normalår eller när nederbörden är liten ökar användningen av fossila bränslen för att komplettera.

Idag finns väldigt få eller inga studier alls inom dentalvärlden som undersöker CO₂utsläpp, men det är viktigt att alla drar sitt strå till stacken när det gäller den globala uppvärmningen, och därför är det viktigt att fler studier genomförs för att få mer kännedom inom ämnet. Inom dentalbranschen sker en ökad användning av digitala metoder och många tror att det kan innebära ett minskat energiberoende men inga studier har undersökt det specifikt.

År 2016 gjordes ca 450 000 kronor inom tandvården varav ca 250 000 gjordes på flera tänder i samma käke. Samtidigt gjordes broar med ca 100 000 hängande led vilket leder till en genomsnittlig bro med en hängande och 2,5 stöd. Detta är den vanligaste åtgärden inom protetikområdet. Vi har därför valt en 3-ledsbro som utgångspunkt för vår analys.

Syfte:

Syftet avser att få en övergripande bild av CO₂ utsläpp utifrån elförbrukning på dentallaboratorium när de framställer en 3-ledsbro. Jämförelsen skall utvärdera energiförbrukningen vid konventionell framställning via gjutning av CoCr samt 2 olika typer av fräst CoCr inklusive digital formgivning.

Material och metod:

En noggrann genomgång av samtliga arbetsmoment som sker vid framställningen av en 3-ledsbro med ett hängande led i molar-premolar-området förutom porslinsbränning görs. Moment som kräver någon typ av elförbrukning markeras. Sedan anges hur förbrukningen kan mätas, vilka moment som behöver genomföras upprepade gånger och vilka där det räcker med att mäta en gång.

Elmätare "PM 498" från Clas Ohlsson kopplas mellan eluttag och olika maskiner som ingår i framställningen. Elmätaren mäter förbrukningen i kwh. Alla framställningsmoment och uträkningar utförs av studenterna.

Konventionell teknik:

1. Elvaxkniv under uppvaxning av skelett. Uppvaxningen kommer ske fem gånger för att minska risk för mänsklig felkälla under vaxprocessen.
2. En av uppvaxningarna bäddas in med inbäddningsmassa.
3. Från kall urbränningsugn, uppvärmning till fullbordad urbränning av ett skelett.
4. Gjutslunga för gjutning i CoCr av ett skelett.
5. Handstycke under tillslipning av skelettet.
6. Bläster under sandblästring.

Digital teknik

1. Dator och scanner från 3-shape, gipsmodellen scannas och designas fem gånger för att minska risk för mänsklig felkälla under designprocessen.
2. Fräs, ett av de designade skeletten fräses i Whitepeaks "Cast, hard Co/Cr." och ett annat av skeletten fräses i Whitepeaks "Hard milling CoCr sintering metal". Fräsningen kommer att ske en gång per legering.

Jämförelse sker sedan mellan de båda framställningsteknikerna och de två olika materialen som fräses. Journal kommer föras över alla använda apparater och tidsåtgång.

Material och metod forts.

Under studien kommer vi att räkna ut hur mycket CO₂ som hypotetiskt sett kan släppas ut årligen under framställningen av treledsbroar i hela Sverige. Vi kommer använda oss av statistiken som finns tillgänglig hos försäkringskassan.

Eftersom framställningstekniken inte står specificerat på försäkringskassan kommer vi jämföra hur mycket CO₂ som hypotetiskt sett skulle kunna släppas ut om alla underkonstruktioner framställdes med konventionell teknik kontra digital teknik.

Resultaten från de 3 olika framställningssätten kommer inte att behandlas statistiskt men skillnader på mer än 10 % mellan metoderna bedöms som säkra.

Det har genomförts ett pilotprojekt den 2 februari 2018 som visar på att projektet är genomförbart.

Riskbedömning:

Behöver inte göras.

Utvärdering och statistisk bearbetning:

Se ovan.

Tidsplan:

Pilotprojekt 2 februari 2018

Huvudprojekt v.6-11

Första utkast inskickat slutet v.11

Budget för studien:

Två stycken elmätare 400 kr

Två stycken fräsblock i CoCr ca 3000 kr