



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Byggingeniør, studieretning Teknisk planlegging	Vårsemesteret, 2021 Åpen
Forfatter: Amalie Eikeskog	
Fagansvarlig: Ari Krisna Mawira Tarigan Veileder(e): John Charles Grønli	
Tittel på bacheloroppgaven: Trykkfordelende belegningsstein med mulighet for overvannshåndtering Engelsk tittel: Pressure distributing paving stone with possibility for surface water management	
Studiepoeng: 20	
Emneord: Belegningsstein	Sidetall: 113 + vedlegg/annet: 14 Stavanger, 15.05.21.

Sammendrag

Oppgaven tar for seg en patentert belegningsstein som kjennetegnes ved et pyramideformet design med skråstilte flater og ulikt topp- og bunnareal. Belegningssteinen er en trykkfordelende belegningsstein med god lastfordelingsevne i et dekke. Belegningssteinen er hovedsakelig tenkt til områder som må tåle store laster. Ved belegning av denne steinen dannes et hulrom som gir mulighet til tekniske installasjoner. I denne oppgaven er det gjort noen justeringer på designet hvor formålet er å teste om hulrommene kan brukes til håndtering av overvann.

Belegningssteinen er skrevet om i fire tidligere bachelor oppgaver, hvor det er gjort designendringer, og flere undersøkelser om belegningssteinens egenskaper. For å få en bedre forståelse av belegningssteinen, oppsummeres tidligere funn i kapittel 1. Videre er det en generell beskrivelse av belegningsstein i betong, samt en generell beskrivelse av overvann. Deretter en detaljert beskrivelse av belegningssteinen, dens dimensjoner og egenskaper, samt justering på designet og kantavslutninger. Det er også beskrevet hvordan steinene støpes og brukes til videre tester for overvannshåndtering. Til slutt oppsummeres de viktigste funnene i konklusjonen.

Forord

Som siste del av min bachelorgrad innen Byggingeniør – Teknisk planlegging har jeg skrevet denne oppgaven basert på en detaljert belegningsstein som har mange spennende bruksområder. Det har vært en spennende og lærerik prosess, og jeg har brukt kunnskap fra tidligere fag og tilnærmet meg ny kunnskap underveis. Dette semestret har også være preget av Koronaviruset, hvor endringer og nye retningslinjer oppstå på kort varsel. Til tross for pandemien er jeg fornøyd med gjennomføringen og sluttresultatet av oppgaven. Jeg har stor tro på at denne belegningssteinen kan være aktuell på markedet innen få år. Jeg håper at denne oppgaven viser et nytt bruksområdet for belegningssteinen som gjør den enda mer attraktiv til å nå ut på markedet.

Det må rettes en stor takk til min veileder gjennom denne oppgaven John Charles Grønli som presenterte belegningssteinen for meg og har gitt meg god veiledning og hjelp underveis. Jeg må også takke Universitetet i Stavanger for fine og lærerike år, samt tilgangen på alt av utstyr og dataprogrammer som er brukt i denne oppgaven. De som jobber på Ivar Langens Hus må også takkes for god hjelp på verkstedet og utlån av utstyr som er tatt i bruk, samt ivaretar sikkerheten til studentene på verkstedet. Jeg vil takke Yaaseen Ahmad Amith for all 3D-printing til denne oppgaven. Til slutt vil jeg takke familien min for tilretteleggelse og forståelse slik at jeg har hatt mulighet til å skrive denne oppgaven på best mulig vis.

Alt av tegninger, bilder, tabeller og lignende er produsert av forfatteren av oppgaven, med mindre det er opplyst om noe annet. Programmer som er brukt til å fremstille tegninger, tabeller, og tekst er AutoCAD 2020, Excel og Word. Printereren som er brukt til 3D-print er FORTUS 450 printer.

Innhold i denne oppgaven kan brukes til videre undersøkelser og studier om ønskelig. Det tas forbehold om eventuelle feil eller mangler i teksten.

Amalie Eikeskog

Stavanger, 15. mai 2021

Innholdsfortegnelse

<i>Sammendrag</i>	2
<i>Forord</i>	3
<i>Figurligste</i>	8
<i>Tabelliste:</i>	12
1 Innledning	13
1.1 Bakgrunn for oppgaven	13
1.2 Funn fra tidligere oppgaver	14
1.2.1 Funn i Rogn sin oppgave	15
.....	16
.....	18
.....	19
1.2.2 Funn i Lillestøl sin oppgave	21
.....	21
.....	23
1.2.3 Funn i Stavnes sin oppgave	24
.....	25
1.2.4 Funn i Torgrimsen oppgave	27
.....	30
2 Generelt om belegningsstein i betong	32
2.1 Bruksområde	32
2.2 Låsestein og ikke låsestein	33
2.3 Kantstein	34
2.4 Fuger	35
2.5 Fundament	36
2.5.1 Dekke	37
2.5.2 Bærelag	38
2.5.3 Forsterkningslag	38

2.5.4 Filterlag og frostsikring	39
2.5.5 Undergrunn	39
2.6 Håndtering av overvann.....	40
.....	40
.....	40
2.7 Produksjon	41
2.8 Drift og vedlikehold.....	42
2.8.1 Sommerdrift	42
2.8.2 Vinterdrift	43
2.8.3 Vedlikehold.....	44
2.8.4 Ugress.....	45
3 Generelt om overvann.....	46
3.1 Tiltak for håndtering av overvann	47
3.1.1 Treleddsstrategi	48
3.2 Permeable dekker.....	49
3.2.1 Total infiltrasjon	49
3.2.2 Delvis infiltrasjon.....	50
3.2.3 Ingen infiltrasjon.....	50
4 Beskrivelse av belegningssteinene	51
4.1 Opprinnelig belegningssteinstein S01.....	51
4.2 Ny belegningssteinstein S02.....	55
.....	55
4.2.1 Dimensjoner	55
4.3 Belegningssteinenes egenskaper	57
4.4 Forbruk	58
4.4.1 Forbruk per kvadratmeter.....	58
4.4.2 Antall steiner innenfor en kvadratmeter	59
4.5 Hulrom	60
4.6 Brikke til justering	64
4.7 Kantavslutninger.....	65
Kantavslutning 1:.....	66

Kantavslutning 3:.....	68
Kantavslutning 4:.....	69
Kantavslutning 5:.....	70
Kantavslutning 6:.....	71
Kantavslutning 7:.....	72
Kantavslutning 8:.....	73
Slisserenne:.....	74
Eksempler:	75
5 3D-print.....	76
5.1 Brikke til justering	76
.....	76
5.2 Kantavslutning 1, 2, 3, og 4	76
5.3 Kantavslutning 5, 6, 7, og 8	80
6 Støping av S02 i betong.....	83
6.1 Utstysrliste.....	83
6.2 Resepter.....	84
6.3 Fremgangsmåte	85
.....	85
6.4 Konklusjon	86
7 Teste dekket for overvannshåndtering.....	88
7.1 Klargjøring til forsøkene.....	89
7.1.1 Utstysrliste.....	89
7.1.2 Utførelse	90
7.1.3 Utrekning helning	94
7.2 Test 1.....	96
7.2.1 Resultater	98
7.2.2 Feilkilder og diskusjon	98
7.3 Test 2.....	100
7.3.1 Resultater	102
7.3.2 Feilkilder og diskusjon	103
7.4 Test 3.....	104

7.4.1 Resultater.....	105
7.4.2 Feilkilder og diskusjon	106
7.5 Videre arbeid.....	106
8 Oppsummering og konklusjoner	107
Referanser:.....	110
Vedlegg:	113

Figurligste

<i>Figur 1: Skisse av patent. Originalstein.....</i>	<i>13</i>
<i>Figur 2: Før, underveis, og etter påføring av last. Vist på originalstein og vanlig belegningsstein.....</i>	<i>14</i>
<i>Figur 3: Originalstein før påført last.</i>	<i>15</i>
<i>Figur 4: Originalstein etter påført last.....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 5: Design alternativ 1.....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 6: Før påføring av last, alternativ 1.....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 7: Etter påføring av last, alternativ 1.....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 8: Design, alternativ 2.....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 9: Før påføring av last, alternativ 2.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 10: Etter påføring av last, alternativ 2.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 11: Design, alternativ 3.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 12: Før påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 13: Etter påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 14: Før påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 15: Etter påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 17: Etter påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 16: Før påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 18: Før påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 19: Etter påføring av last, alternativ 3.....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 20: Design T14.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 21: Design T18.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 23: Design T22.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 22: Design T21.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 24: Originalstein etter påført belastning.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 25: T14 etter påført belastning.....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 26: T18 etter påført belastning.....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 27: T21 etter påført belastning.....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 28: T22 etter påført belastning.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 29: T22 etter påført belastning, dekke på 17 steiner.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 30: Design V04.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 31: Design V02.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 32: Design V08.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 33: Design V09.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 34: Design V10.....</i>	<i>25</i>
<i>Figur 35: V09, V02 og originalstein før påført last.....</i>	<i>25</i>
<i>Figur 36: V09, V02 og originalstein etter påført last.....</i>	<i>26</i>
<i>Figur 37: Hulrom som oppstår ved belegning.....</i>	<i>26</i>

<i>Figur 38: Tekniske installasjoner kan legges i ønsket retning.</i>	27
<i>Figur 39: Isdekke nummer 1 før smelting.</i>	28
<i>Figur 40: Islag nummer 2 før smelting.</i>	28
<i>Figur 41: Lasten dekke ble utsatt for.</i>	29
<i>Figur 42: Dekke etter test, ingen synlige endringer. S-stein til venstre og S01 til høyre.</i>	29
<i>Figur 43: Liten forskyvning i S01-dekket.</i>	30
<i>Figur 44: Minimale forskyvninger i referansedekket.</i>	30
<i>Figur 45: L-stein og S01 før vridning.</i>	30
<i>Figur 46: L-stein og S01 etter vridning.</i>	31
<i>Figur 48: Ikke låsestein,</i>	33
<i>Figur 47: Låsestein.</i>	33
<i>Figur 49: Eksempler på leggemønstre for belegningsstein.</i>	33
<i>Figur 50: Eksempler på kantavslutninger med nedsenket kantstein.</i>	34
<i>Figur 51: Eksempler på dårlige og gode tilpasninger til kantavslutninger.</i>	34
<i>Figur 52: Overbygning.</i>	36
<i>Figur 53: Eksempel på riktig og feil utførelse av settelag.</i>	37
<i>Figur 54: Linjeavrenning.</i>	40
<i>Figur 55: Punktavrenning.</i>	40
<i>Figur 56: Illustrasjon på treledd-strategi for håndtering av nedbør.</i>	48
<i>Figur 57: Total infiltrasjon.</i>	49
<i>Figur 58: Delvis infiltrasjon.</i>	50
<i>Figur 59: Ingen infiltrasjon.</i>	50
<i>Figur 60: S01 til venstre og S02 til høyre.</i>	51
<i>Figur 61: S01</i>	51
<i>Figur 62: Dimensjoner S01 og S02 kortsiden.</i>	53
<i>Figur 63: Dimensjoner S01 og S02 langsiden.</i>	53
<i>Figur 64: Dimensjoner S01 ovenfra.</i>	54
<i>Figur 66: Sammenligning: S01 til venstre, S02 til høyre.</i>	55
<i>Figur 65: S02.</i>	55
<i>Figur 67: Dimensjoner S02 ovenfra.</i>	56
<i>Figur 68: Antall belegningssteiner innenfor en kvadratmeter.</i>	59
<i>Figur 69: Hulrom</i>	60
<i>Figur 70: Hulrom vist for langsiden og kortsiden.</i>	60
<i>Figur 71: Hulrom langsiden per kvadratmeter.</i>	61
<i>Figur 72: Hulrom kortsiden, per kvadratmeter.</i>	62
<i>Figur 73: Totalt hulrom per kvadratmeter.</i>	63
<i>Figur 74: Dimensjoner, brikke til justering.</i>	64
<i>Figur 75: Brikke til justering 3D-tegning.</i>	64

<i>Figur 76: Kantavslutning 1, 2, 3, og 4</i>	65
<i>Figur 77: Kantavslutning 5, 6, 7, og 8</i>	65
<i>Figur 78: Kantavslutning 1</i>	66
<i>Figur 79: Kantavslutning 1, 3D-tegning</i>	66
<i>Figur 80: Kantavslutning 2</i>	67
<i>Figur 81: Kantavslutning 2, 3D-tegning</i>	67
<i>Figur 82: Kantavslutning 3</i>	68
<i>Figur 83: Kantavslutning 3, 3D-tegning</i>	68
<i>Figur 84: Kantavslutning 4</i>	69
<i>Figur 85: Kantavslutning 4, 3D-tegning</i>	69
<i>Figur 86: Kantavslutning 5</i>	70
<i>Figur 87: Kantavslutning 5, 3D-tegning</i>	70
<i>Figur 88: Kantavslutning 6</i>	71
<i>Figur 89: Kantavslutning 6, 3D-tegning</i>	71
<i>Figur 90: Kantavslutning 7</i>	72
<i>Figur 91: Kantavslutning 7, 3D-tegning</i>	72
<i>Figur 92: Kantavslutning 8</i>	73
<i>Figur 93: Kantavslutning 8, 3D-tegning</i>	73
<i>Figur 94: Eksempel på slisserenne, 3D-tegning</i>	74
<i>Figur 95: Eksempel dekke med kantavslutninger med slisserenne</i>	75
<i>Figur 96: Eksempel dekke med kantavslutninger mot grøntområde</i>	75
<i>Figur 97: 3D-print brikke til justering</i>	76
<i>Figur 98: 3D-print S01 og S02</i>	77
<i>Figur 99: 3D-print kantavslutning 1</i>	77
<i>Figur 103: 3D-print kantavslutning 1 på dekke</i>	78
<i>Figur 102: 3D-print dekke av S01, S02 og kantavslutning 1, 2, 3, og 4</i>	78
<i>Figur 101: 3D-print kantavslutning 2, 4, og 3</i>	78
<i>Figur 100: 3D-print kantavslutning 3, 2, og 4</i>	78
<i>Figur 104: 3D-print kantavslutning 1, 2, 3, og 4 på dekke</i>	79
<i>Figur 105: Forskyvninger på kantavslutning 2, 3, og 4</i>	79
<i>Figur 106: 3D-print kantavslutning 5</i>	81
<i>Figur 107: 3D-print kantavslutning 6</i>	81
<i>Figur 108: 3D-print kantavslutning 8 og 7</i>	81
<i>Figur 109: 3D-print Kantavslutning 5, 6, 7, og 8, sammen med S01 og S02 i betong</i>	82
<i>Figur 110: Former klargjort til støping</i>	85
<i>Figur 111: En av de dårligere steinene som ble støpt, fra resept 1</i>	86
<i>Figur 112: Stein støpt ut fra resept 2</i>	87
<i>Figur 113: Dekke bestående av kun S02 fra både resept 1 og 2</i>	87

<i>Figur 114: Større vannmengder samlet over et dekke.....</i>	<i>88</i>
<i>Figur 115: Grov tilslag under, og fint tilslag over.</i>	<i>90</i>
<i>Figur 116: Forskjell på hvor tett steinen ligger.</i>	<i>91</i>
<i>Figur 117: Først legges S01, deretter S02.</i>	<i>91</i>
<i>Figur 118: Forskjeller på hvor tett steinene ligger.</i>	<i>92</i>
<i>Figur 119: Kantavslutningene sammen med S01 og S02 i betong.</i>	<i>92</i>
<i>Figur 120: Plastrør festet til hulrommene, og oppsamlingskopper plassert.</i>	<i>93</i>
<i>Figur 121: Målinger ved øvre og nedre del av dekke.....</i>	<i>94</i>

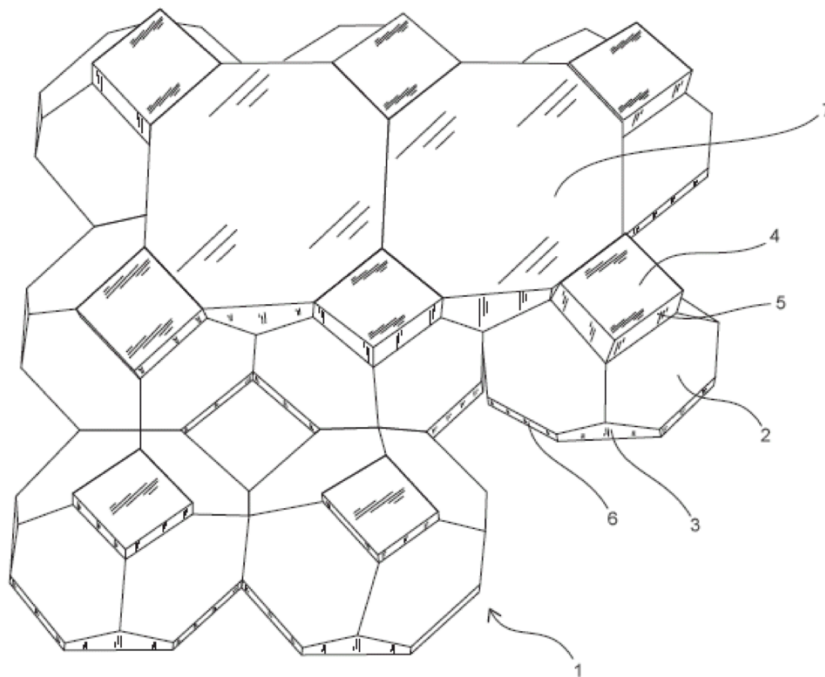
Tabelliste:

<i>Tabell 1: Utreget tidsbruk for issmelting</i>	<i>28</i>
<i>Tabell 2: Resept betongblanding nummer 1</i>	<i>84</i>
<i>Tabell 3: Resept betongblanding nummer 2</i>	<i>84</i>
<i>Tabell 4: Resultater fra Test 1.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabell 5: Resultater fra Test 2.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabell 6: Resultater fra Test 3.....</i>	<i>105</i>

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Oppgavens formål er å videreutvikle en belegningsstein patentert av John Charles Grønli i 2014. Belegningssteinens (1) opprinnelse beskrives som særpreget ved at den i hovedsak er pyramideformet og omfatter: en grunnflate (7); tre, fire, fem, eller flere skråstilte sideflater (2) som skråner ned mot grunnflaten (7); en toppflate (4) som er parallell med grunnflaten (7), idet toppflaten (4) har sidekanter (5) hvis lengde er lik eller kortere enn lengden av en sideflate (6) mot grunnflaten (7) og antall sidekanter (5) på toppflaten (4) samsvarer med antall sideflater (6) på belegningssteinen(1). Belegningssteinen i denne oppgaven skiller seg fra den tradisjonelle belegningssteinen ved at den har skråstilte flater og at overflaten og grunnflaten er forskjellige. Belegningssteinen legges dermed annenhver om hverandre og skal tåle et høyt flatetrykk [1].



Figur 1: Skisse av patent. Originalstein.

Hentet fra [1].

1.2 Funn fra tidligere oppgaver

Figur 2 viser en illustrasjon av hvordan den første skissen av belegningssteinen så ut, omtalt som Originalsteinen. Denne steinen ble det utført en fullskala testing av, hvor det ble lagt et mindre dekke av originalsteinene på siden av et mindre dekke med vanlig belegningsstein. Videre kjørte en truck over begge dekkene samtidig for å sammenligne de to dekkene. Resultatet av forsøkte viste at den nye belegningssteinen var dårligere enn den vanlige. Grunnen til at den nye belegningssteinen sank sammen er at det ikke er noen låsmekanisme som holder de sammen, dermed sklir de fra hverandre [2, side 8].



*Figur 2: Før, underveis, og etter påføring av last. Vist på originalstein og vanlig belegningsstein
Hentet fra [2, side 8].*

Våren 2011 skrev Rogn [2] og Lillestøl [3] hver sin bacheloroppgave, våren 2017 skrev Stavnes [4] bacheloroppgave, og våren 2020 skrev Torgrimsen [5] bacheloroppgave om den patenterte belegningssteinen. Oppgavene konsentrerer seg om videreutvikling av belegningssteinens design og låsmekanisme til forbedring fra originalsteinen. Nye design blir testet, noen ved 3D-printet klosser i mindre skala, og noen tester er gjennomført i riktig skala og i betong. Belegningssteinen blir også testet sammen med tekniske installasjoner i dekket, samt vridninger på dekket.

1.2.1 Funn i Rogn sin oppgave

Rogn så videre på utforming av nye design på steinene, slik at de ble låst sammen i dekket og ikke sklir ut ved belastning. Han fant blant annet ut at steinene ikke kan ha et skråplan mindre enn 60° ved tørrstøping, grunnet at betongen da vil henge igjen i formene [2, side 9]. Han laget tre forskjellige alternativer til utforming av nye steiner. Testene ble utført på originalsteinen og de tre nye alternativene til steinen. Steinene ble printet ut ved hjelp av 3D-printer, og brukes til å teste vertikal og horisontal forskyvning og statisk friksjon. Originalsteinen, alternativ 1 og alternativ 2 ble testet på et bærelag bestående av 30mm isopor, og til settelag ble det brukt 10mm med fingradert sand. Det ble brukt en pipenøkkel med vekt på 0.13kg for å få mest mulig likt punktlast for hvert forsøk. Loddet med en vekt på 14.09 kg ble så plassert på steinene, deretter løftet av, og til slutt måles forskyvningene. Testene for disse steinene er gjort ved bruk av åtte steiner fordelt i en ramme med innvendige mål på 25x25 cm [2, side 16 og 17].

Original stein:

Før testen:



Figur 3: Originalstein før påført last.

Hentet fra [2, side 20].

Etter testen:

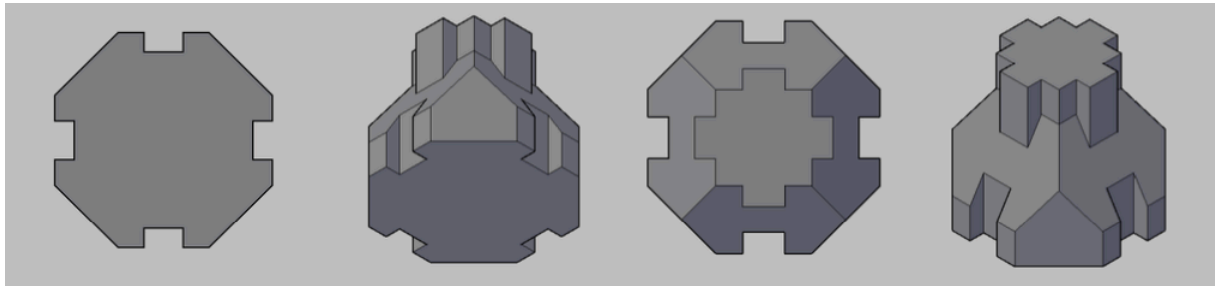


Figur 4: Originalstein etter påført last.

Hentet fra [2, side 20].

For originalsteine ble gjennomsnittlig forskyvninger målt ved fem forsøk. Resultatet ble 6.4mm i horisontal forskyvning, og 7.4 mm i vertikal forskyvning [2, side 18].

Alternativ 1:

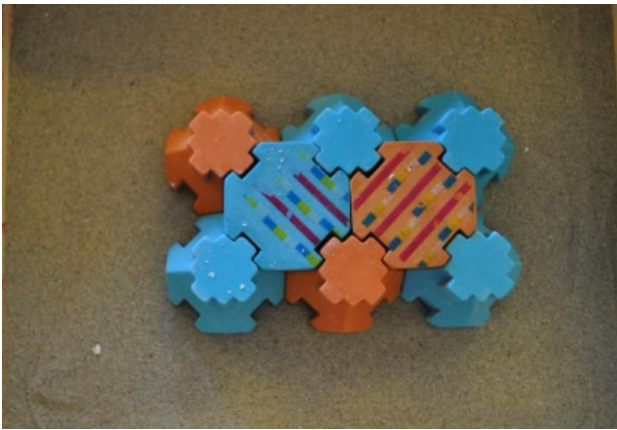


Figur 5: Design alternativ 1.

Hentet fra [2, side 10].

Denne steinen ble utformet spesielt med tanke på et stabilt låsemønster som skal hindre at det oppstår forskyvning på dekket.

Før testen:



Figur 6: Før påføring av last, alternativ 1.

Hentet fra [2, side 21].

Etter testen:

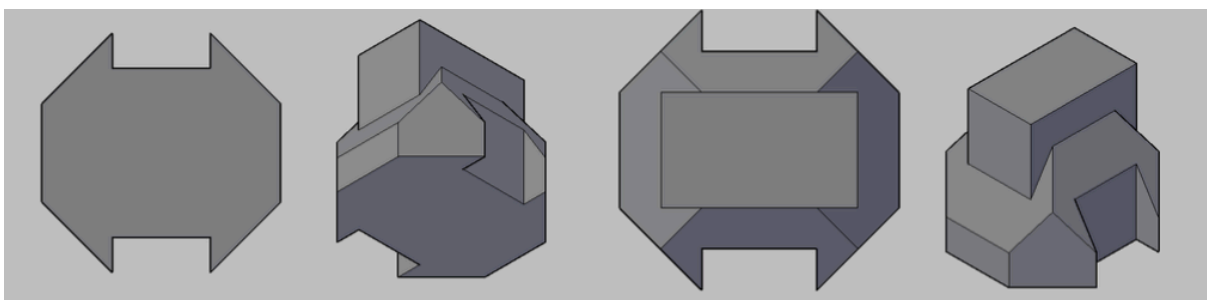


Figur 7: Etter påføring av last, alternativ 1.

Hentet fra [2, side 21].

For alternativ 1 ble det også gjennomført fem forsøk. Det gjennomsnittlige resultatet ble 0.55mm i horisontal forskyvning, og 0.45mm i vertikal forskyvning [2, side 18].

Alternativ 2:

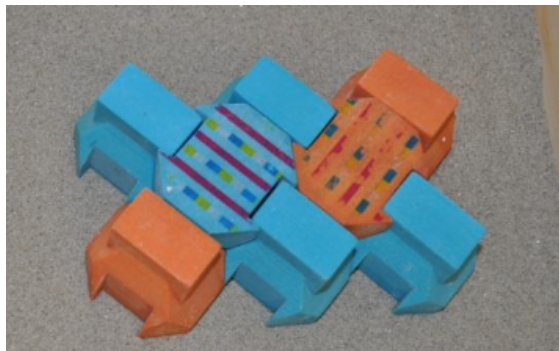


Figur 8: Design, alternativ 2.

Hentet fra [2, side 10].

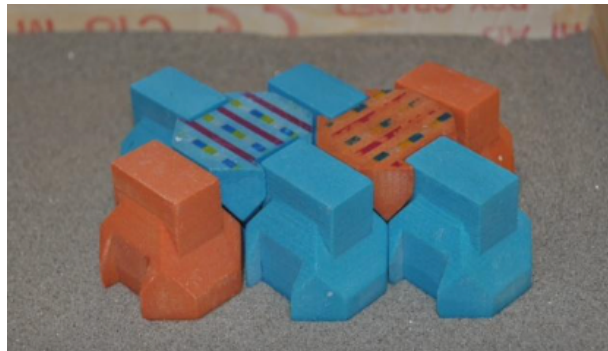
Denne steinen ble utformet for å sikre et godt låssystem, samt at toppen på steinen har større areal og dermed større spenningsflate. En utfordring med dette designet er de spisse kantene som lett kan knekkes av.

Før testen:



Figur 9: Før påføring av last, alternativ 2.
Hentet fra [2, side 22].

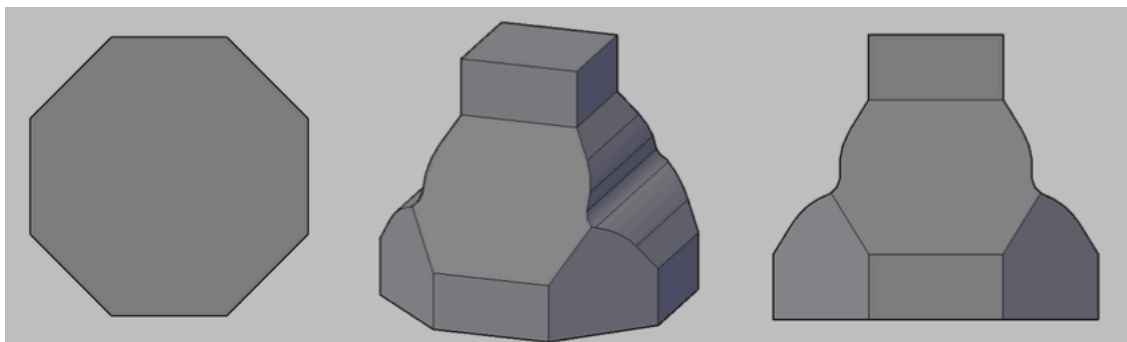
Etter testen:



Figur 10: Etter påføring av last, alternativ 2.
Hentet fra [2, side 22].

For alternativ 2 ble det gjennomført fem forsøk. Det gjennomsnittlige resultatet ble målt til 0.6mm horisontal forskyvning, og 0.4mm vertikal forskyvning [2, side 18].

Alternativ 3:



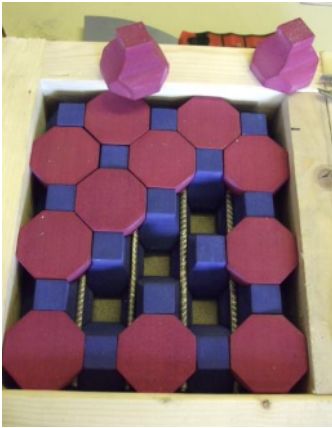
Figur 11: Design, alternativ 3.
Hentet fra [2, side 11].

I dette tilfellet ble det også plassert armering mellom steinene, hvor hensikten er å gi et samvirke mellom steinene ved å låse dem sammen. Det blir i dette forsøket brukt samme bærelag og settelag som tidligere, forskjellen ved dette forsøket er at det legges flere steiner og brukes to lodd med en vekt på 14.09kg hver. Det ble i dette forsøket utført fire tester med justeringer av dekket underveis.

Første test:

Det ble brukt 30 steiner i dekket hvor de er plassert inntil planker for ekstra låsing.

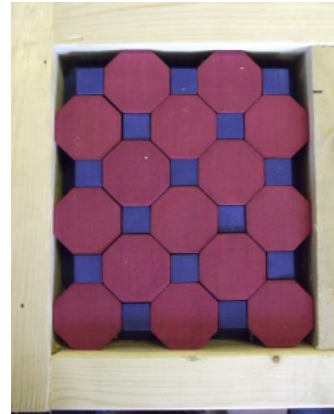
Før testen:



Figur 12: Før påføring av last, alternativ 3.

Hentet fra [2, side 25].

Etter testen:



Figur 13: Etter påføring av last, alternativ 3.

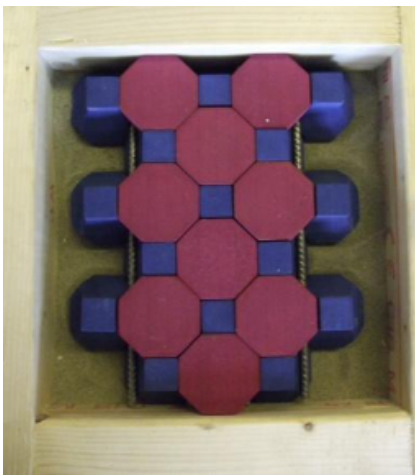
Hentet fra [2, side 26].

I dette tilfellet var det ingen forskyvning som kunne måles, da steinene ikke har flyttet på seg [2, side 25 og 26].

Andre test:

I dette tilfellet ble planken tatt ut slik at det nå kun er låsing på to sider. 24 steiner ble brukt i dekket.

Før testen:



Figur 14: Før påføring av last, alternativ 3.

Hentet fra [2, side 27].

Etter testen:



Figur 15: Etter påføring av last, alternativ 3.

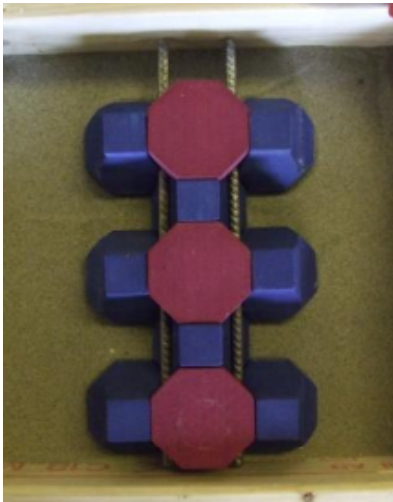
Hentet fra [2, side 27].

Det ble målt en vertikal forskyvning på 0.5mm mens loddene var påført dekket. Når loddene ble fjernet, gikk forskyvningen tilbake som før testen. Horisontal forskyvning hadde ingen forskjell [2, side 27].

Tredje test:

I dette forsøket var det ikke noe ekstra låsing fra kantene. Det ble bruk 11 steiner i testen.

Før testing:



Figur 17: Før påføring av last, alternativ 3.
Hentet fra [2, side 27].

Etter testing:



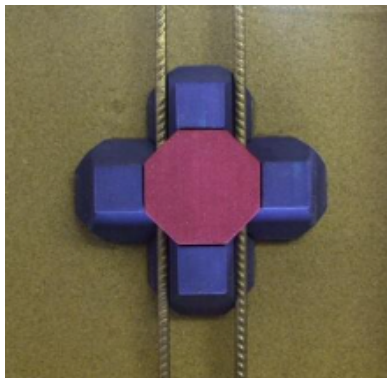
Figur 16: Etter påføring av last, alternativ 3.
Hentet fra [2, side 28].

Resultatet ble en vertikal og horisontal forskyvning på 0.75mm når ett lodd var plassert, når lodde ble fjernet var forskyvningen cirka 0.25mm. Resultatet ved begge loddene ga en vertikal forskyvning på 1mm og en horisontal forskyvning på 2mm. Når loddene ble fjernet var målingene på 0.5 mm [2, side 28].

Fjerde test:

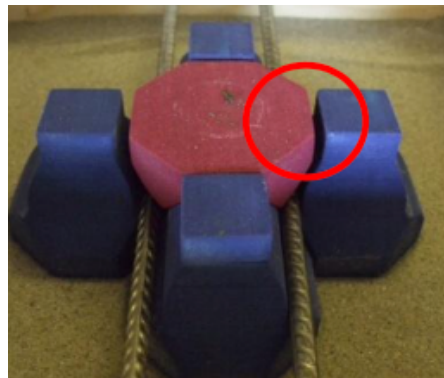
Her ble det testet fem steiner uten noe låsing fra kantene.

Før testing



Figur 18: Før påføring av last, alternativ 3.
Hentet fra [2, side 29].

Etter testing:



Figur 19: Etter påføring av last, alternativ 3.
Hentet fra [2, side 29].

Resultatet etter et lodd var en horisontal forskyvning på 1.5mm og en vertikal forskyvning på 0.75mm. Resultatet etter to lodd var en horisontal forskyvning på 3mm og en vertikal forskyvning på 1mm [2, side 29].

For å oppsummere resultatene fra oppgaven til Rogn, viser det at de nye alternativene er bedre enn den originale steinen. Det visere seg også at alternativ 3 gir minst utslag på forskyvning, dette kan være grunnet armeringen. Selv om armeringen gir et bedre låsesystem, vil det også gi større kostnader og føre med seg fare for rust på dekket. Det vil også være mer kompliser å fikse dekket om det er skader på noen av belegningssteinene.

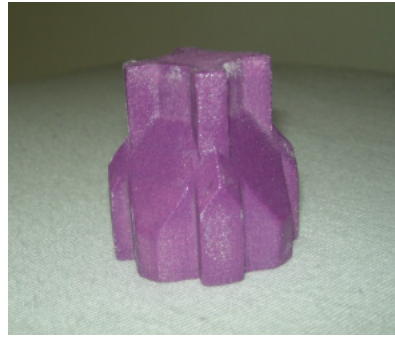
1.2.2 Funn i Lillestøl sin oppgave

Lillestøl har i likhet med Rogn videreutviklet designet til den originale steinen. Hun valgte å bruke tegningene T14, T18, T21 og T22 til å teste vertikal og horisontal forskyvning.

Testingen ble utført på samme måte som i Rogne sin oppgave, hvor steinene 3D-printes, og testes på et bærelag bestående av isoporplate og fin sand som settelag. Det ble også brukt pipenøkkel med vekt 0.13kg og et lodd på 14.08kg [3, side 25, 41 og 44].



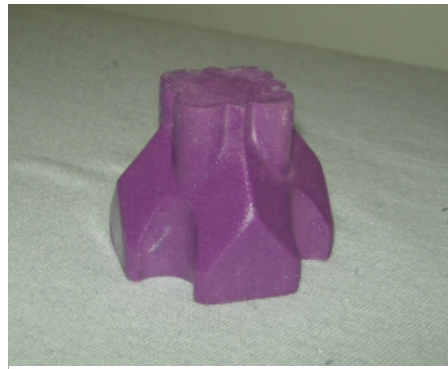
Figur 20: Design T14.
Hentet fra [3, side 26].



Figur 21: Design T18.
Hentet fra [3, side 26].



Figur 23: Design T21.
Hentet fra [3, side 27].



Figur 22: Design T22.
Hentet fra [3, side 26].

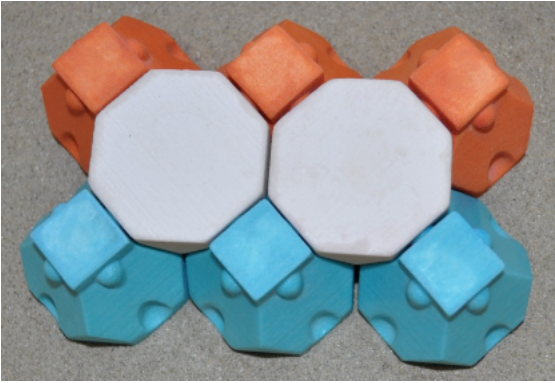
Forsøk originalstein:



Figur 24: Originalstein etter påført belastning.
Hentet fra [3, side 46].

Ved dette designet er både vertikal og horisontal forskyvningen betydelige. Gjennomsnittlig forskyvning ble målt ved fem forsøk. Horisontal forskyvning ble målt til 6.4mm og vertikal forskyvning 7.4mm [3, side 46 og 50].

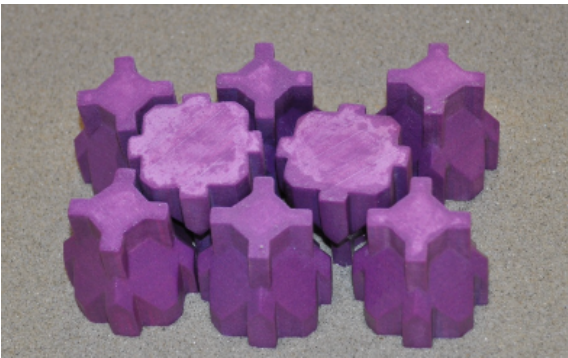
Forsøk T14:



Figur 25: T14 etter påført belastning.
Hentet fra [3, side 48].

Ved påføring av last var ikke forskyvningene særlig merkbare. Designet er utviklet for å kunne holde igjen mot vertikale krefter, så vel som horisontale krefter. Gjennomsnittlig forskyvning ble målt ved fem forsøk. Horisontal forskyvning ble målt til 0.2mm og vertikal forskyvning 0.2mm [3, side 48 og 50].

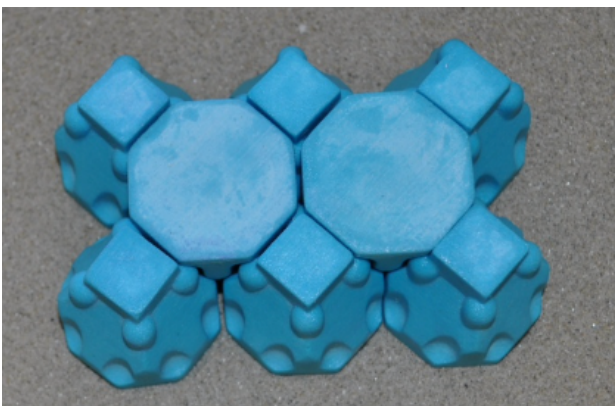
Forsøk T18:



Figur 26: T18 etter påført belastning.
Hentet fra [3, side 46].

Dette designet fikk dårligere gjennomsnittsmålinger enn originalsteinen. Gjennomsnittlig forskyvning ble målt ved fem forsøk. Horisontal forskyvning ble målt til 9.2mm og vertikal forskyvning 7.5mm [3, side 46 og 50].

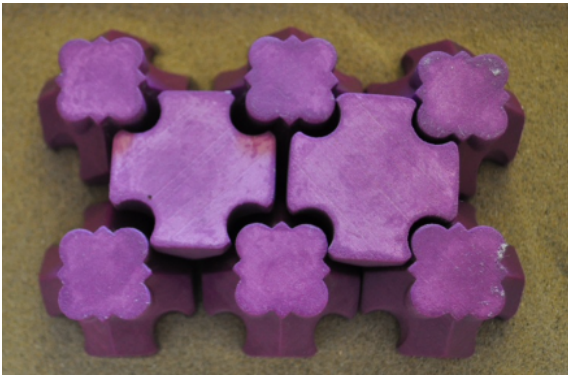
Forsøk T21:



Figur 27: T21 etter påført belastning.
Hentet fra [3, side 48].

Dette designet er også laget for å holde igjen mot vertikale krefter, så vel som horisontale krefter. Forskjellen fra dette designet, sammenlignet med T14 er at T21 har låsemekanismen plassert på kantene, mens T14s låsemekanisme er plassert midt på sidene. Gjennomsnittlig forskyvning ble målt ved fem forsøk. Horisontal forskyvning ble målt til 0.5mm og vertikal forskyvning 0.2mm [3, side 48 og 50].

Forsøk T22:

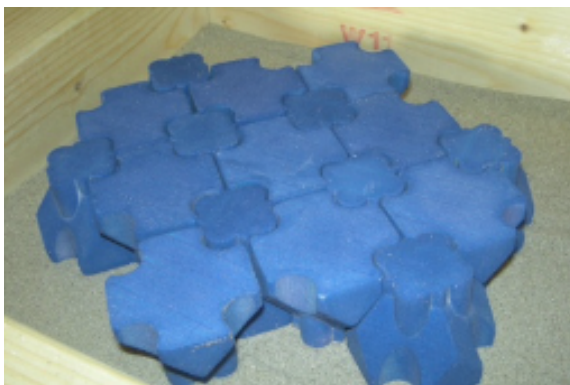


I dette designet ser man tydelig at det er forskyvninger både horisontalt og vertikalt. Gjennomsnittlig forskyvning ble målt ved fem forsøk. Horisontal forskyvning ble målt til 4.4mm og vertikal forskyvning 3.1mm [3, side 47 og 50].

Figur 28: T22 etter påført belastning.

Hentet fra [3, side 48].

Det ble gjort videre undersøkelser for T22. Denne steinen ble testet videre for å undersøke om et større prøvelfelt ville føre til at den horisontale kraftoverføringen i steinene holdt bedre igjen mot forskyvningene i feltet. Det ble testet prøvelfelt bestående av minst 8 steiner, opptil 17 steiner. De viste seg at størrelsen på prøvelfeltet hadde innvirkning på forskyvningene. Resultatene for den gjennomsnittlige vertikale forskyvningen gjort på fem forsøk, var 0.8mm på 17 steiner, 1mm på 14 steiner, og 3.8mm på 8 stykker. Resultatene for horisontal forskyvning var 0.4mm på 17 steiner, 1.3mm på 14 steiner, og 3.3mm på 8 steiner [3, side 51-53].



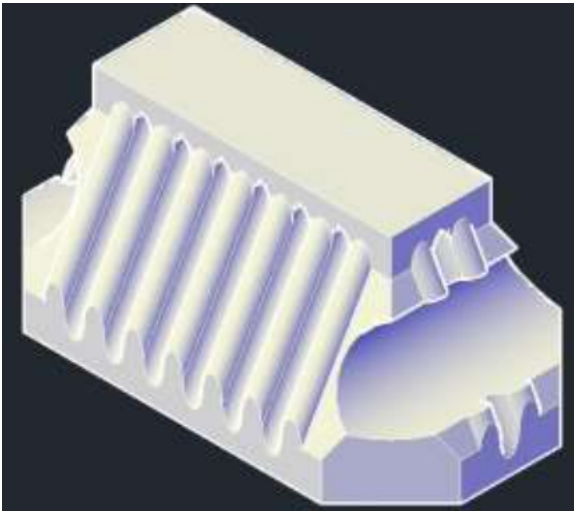
Figur 29: T22 etter påført belastning, dekke på 17 steiner.

Hentet fra [3, side 51].

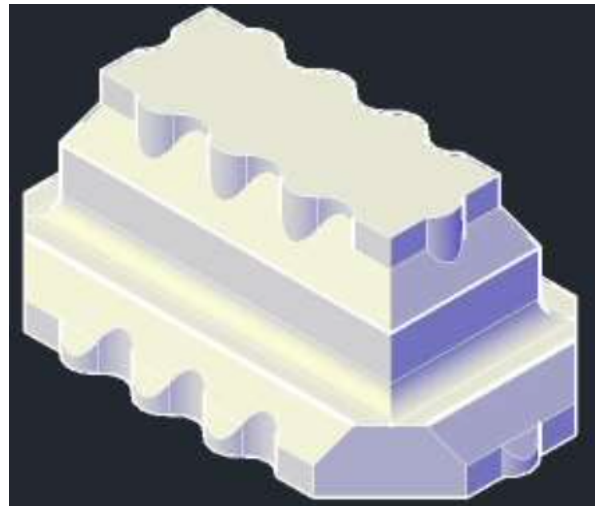
Ved en oppsummering viser det at T14 og T21 er designene som kommer best ut av testingene. T18 kom dårligere ut av testen enn originalsteinen og anbefales derfor ikke til videre bruk. Det viste seg også at ved å legge et dekke med flere steiner, gir en bedre fordeling av lasten og dermed gir mindre forskyvninger enn ved et mindre antall steiner.

1.2.3 Funn i Stavnes sin oppgave

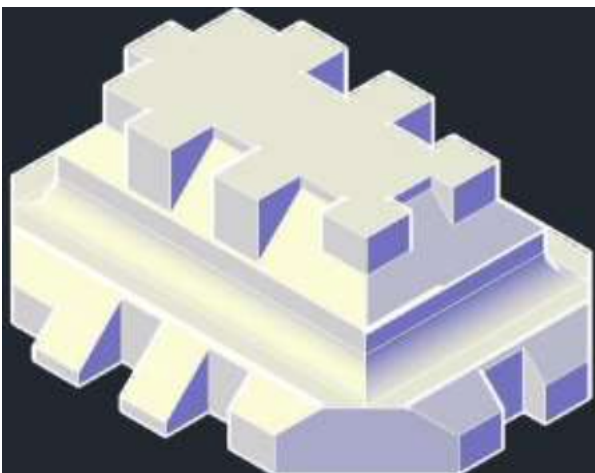
Stavnes endret designe fra å være et kvadrat på toppen til å bli rektangulært. Han presenterte fem nye og ulike design av steinen som kunne være aktuelle til videre testing. Fra disse ble to av designene brukt i videre undersøkelser.



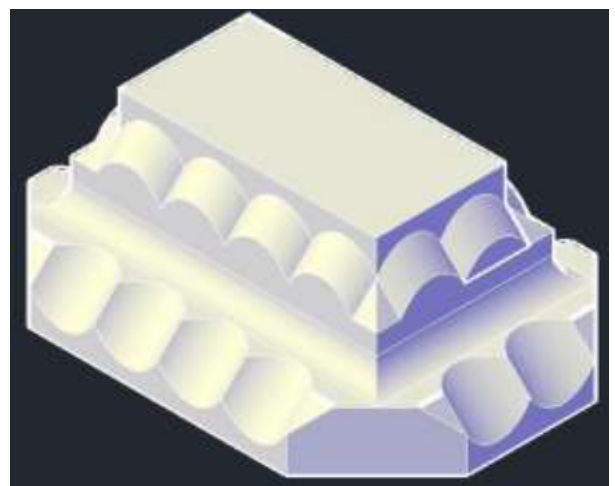
Figur 30: Design V04.
Hentet fra [4, side 14].



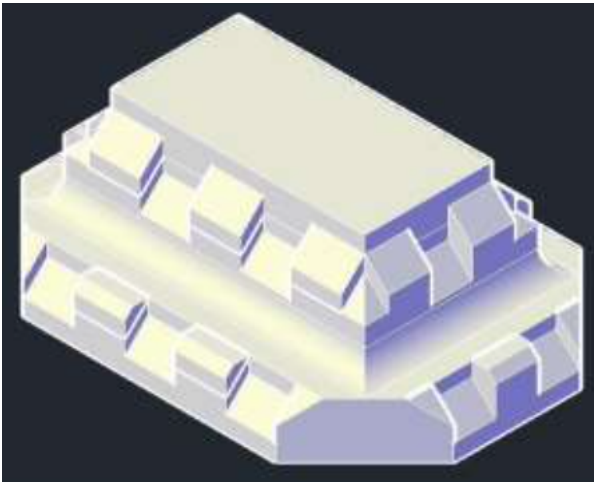
Figur 31: Design V02.
Hentet fra [4, side 14].



Figur 32: Design V08.
Hentet fra [4, side 14].



Figur 33: Design V09.
Hentet fra [4, side 15].



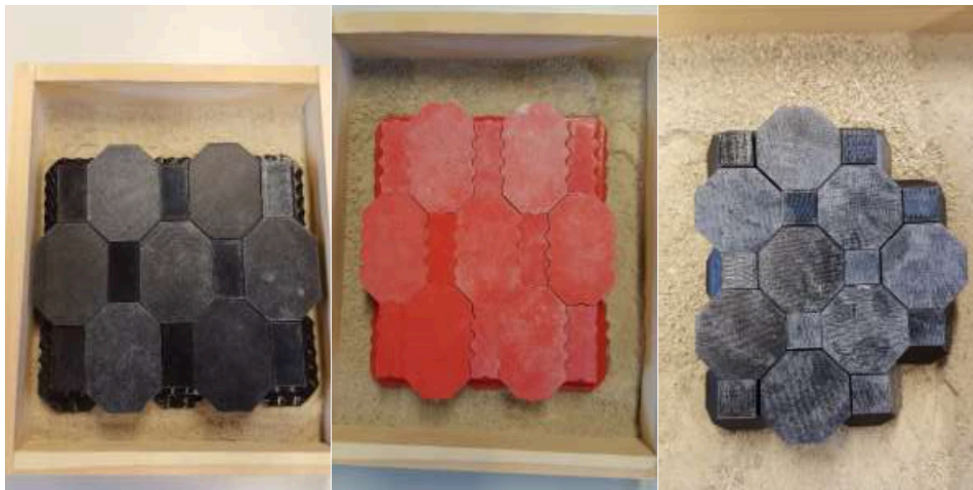
Figur 34: Design V10.

Hentet fra [4, side 15].

Videre ble det 3D-printet ut mindre skalerte steiner av designene V02, V09 og V10. Det ble også printet ut steiner av originalsteinen til sammenligning. Ved print av V10 viste det seg at toleransen var for liten og at steinene ikke passet skikkelig sammen, dermed ble det ikke utført forsøk på V10 designet. Dette designet virker likevel lovende, og bør ses videre på med riktige toleranser [4, side 19-21].

Det ble utført et forsøk for å finne ut om de nye designene har forbedret og tilstrekkelig låsing i et dekke bestående av steinene. Testene ble utført over en bunn av finér på 7mm tykkelse, toppet av en masse bestående steiner i ulik kornstørrelse. Det ble lagt ut 15 steiner for V09 og V02, og 18 steiner for originalsteinen. Det ble plassert et lodd på 170 gram på den midterste steinen, og på loddet ble det plassert en bøtte med 4 liter vann. Forskyvningen ble så målt ved hjelp av et skyvelære [4, side 22-25].

Før påført last:



Figur 35: V09, V02 og originalstein før påført last.

Hentet fra [4, side 26].

Etter påført last:



Figur 36: V09, V02 og originalstein etter påført last.

Hentet fra [4, side 26].

Den påførte lasten for alle forsøkene var på 43.5N. Resultatet for originalsteinen var en vertikal forskyvning på 9mm og en horisontal forskyvning på 10mm. For designet V02 var vertikal forskyvning på 4mm og horisontal på 2.5mm. For designet V09 var vertikal og horisontal forskyvning på 1mm. Dette forteller oss at designet V09 har en betydelig forbedret låsing. Noe annet som også er nytt med designene er at det oppstår et hulrom mellom steinene når dekke legges. Dette kan brukes til å sette inn tekniske installasjoner som for eksempel varmekabler [4, side 21 og 27].

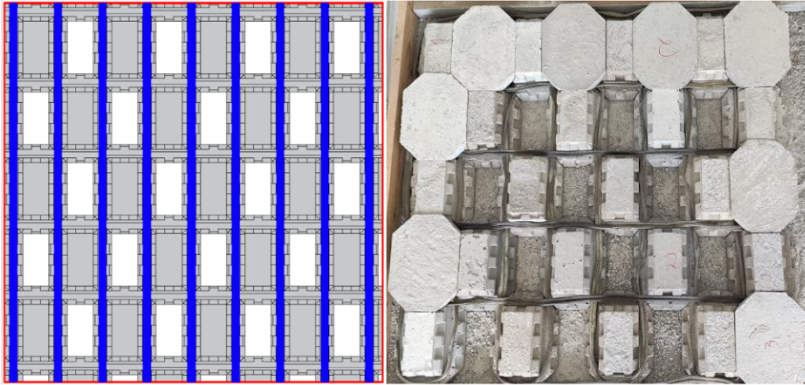


Figur 37: Hulrom som oppstår ved belegning.

Hentet fra [4, side 21].

1.2.4 Funn i Torgrimsen oppgave

Torgrimsen har sett videre på forslaget V10 fra Stavnes sin oppgave. I Torgrimsens oppgave refereres steinen til som S01. Det ble støpt belegningssteiner i betong i steinens oppriktige størrelse, og ble lagt et dekke med tekniske installasjoner [5, side 38].



Figur 38: Tekniske installasjoner kan legges i ønsket retning.

Hentet fra [5, side 38].

Dekket med varmekabler testes ved ismelting. Det regnes ut hvor mye energi som kreves for å smelte 1cm is ved en omgivelses temperatur på 0°C , dekkets størrelse tenkes å være 10m x 20m. Han kommer frem til at det kreves 0.835kWh/m^3 energi for å smelte isen per kvadratmeter [5, side 58 og 59]. For temperaturer under 0°C må isen varmes opp til smeltepunktet før selve smeltingen starter. Han gjør et eksempel hvor temperaturen er -25°C og islaget er 1cm. Da finner han ut at det kreves 0.966kWh/m^2 energi for tining per kvadratmeter [5, side 60]. Torgrimsen utfører også et eksempel for oppvarming av belegningssteindekke før ismelting. Det tenkes at dekke har en temperatur på -25°C , i dette tilfellet må dekket varmes opp før eller samtidig som isen på dekkets overflate varmes opp. Det ble da regnet ut at energien som kreves for å øke belegningens temperatur fra -25°C til 0°C er 257 kWh [5, side 61].

Det er også gjort beregninger for hvor lang tid det vil ta å med ismeltingen i de tre ulike eksemplene. Det tas utgangspunkt i at dekket kan varmes opp med 162 W/m^2 , 257 W/m^2 eller 419 W/m^2 som er beregnet ut ifra meterlengde med varmekabel og varmekabelens effekt. Det er tre ulike effekter for dekke på grunn av at varmekablene kan legges enten i bredderetning eller lengderetning, eller så kan de legges i begge retninger [5, side 63-65].

Tabell 1: Utregnet tidsbruk for issmelting.

Hentet fra [5, side 65].

Eksempel	Dekkets effekt (w/m ²)	Nødvendig energi for å smelte 10 mm is (Wh/m ²)	Tidsbruk (timer)
1	162	835	5,2
	257		3,2
	419		2,0
2	162	966	6,0
	257		3,8
	419		2,3
3	162	2252	13,9
	257		8,8
	419		5,4

Det ble også testet med is på selve dekket for å teste issmeltingen. På dekke nummer 1 er islaget preget av flere og større isbiter, mens på dekke nummer 2 lå det et tynt isdekke med tykkelse på 2-3mm.



Figur 39: Isdekke nummer 1 før smelting.

Hentet fra [5, side 71].



Figur 40: Islag nummer 2 før smelting.

Hentet fra [5, side 72].

Temperaturene i testeområde skulle hele tiden være under eller lik 0°C slik at smeltingen av isen skjedde på grunn av varmekablene. På isdekke nummer 1 tok det rundt en time før isen kunne løsne, selv om tykkelsen på isen fortsatt var 1.5cm. Dette når temperaturen er under frysepunktet og tilført effekt var estimert til cirka 0.4 kW/m² [5, side 72-76]. For isdekke nummer 2 ble det målt til dekket var helt isfritt. Det tok cirka 2.5 timer før dekket var bart for is. Den tilførte energien var da estimert til litt over 1 kWh/m² [5, side 76-79].

Torgrimsen testet også ulike laster og vridning på et dekke bestående av S01, sammenlignet med et referansedekke som bestod enten av S-formet eller L-formet belegningsstein. I det første forsøket ble det plassert ulike laster jevnt fordelt over begge dekkene, for å sjekke om det er noe merkbare endringer på belegningen etter at lasten er fjernet. Når lasten var fjernet var det ingen merkbare endring i noen av dekkene [5, side 98-100].



Figur 41: Lasten dekke ble utsatt for.

Hentet fra [5, side 99].



Figur 42: Dekke etter test, ingen synlige endringer. S-stein til venstre og S01 til høyre.

Hentet fra [5, side 100].

Det ble også utført konsentrert last på dekket, i form av en bil. Begge dekkene håndterte lasten greit. Mens lasten var påfør ble det målt noen fordypninger på cirka 3-4mm fra S01-dekket. Referansedekket hadde også noen få høydeforskjeller ved lastpåføring målt til cirka 1-3mm [5, side 100-102].



Figur 43: Liten forskyvning i S01-dekket.

Hentet fra [5, side 101].



Figur 44: Minimale forskyvninger i referansedekket.

Hentet fra [5, side 102].

Videre ble det utført tester for vridningslaster. Her ble bilen kjørt slik den sto med hjulene over dekke, når bilen sto i ro ble hjulene på bilen vridd. Deretter ble det tatt målinger av forskyvninger som oppstod.



Figur 45: L-stein og S01 før vridning.

Hentet fra [5, side 110].



*Figur 46: L-stein og S01 etter vridning.
Hentet fra [5, side 110].*

Det ble utført flere varianter av lastene, både konsentrerte laster og vridningslastene enn nevnt her. Hovedkonklusjonen til Torgrimsen er at S01 håndterer konsentrert last på lignende vis som referansedekken, men det bør også testes med tyngre laster for å se hvor mye en S01-belegning faktisk tåler. Vridningslastene håndtertes bedre av S01 enn referansedekken. Det må bemerkes at referansedekket ikke var fuget skikkelig og ingen av dekkene var sikret med kantsikring.

2 Generelt om belegningsstein i betong

2.1 Bruksområde

Belegningsstein i betong er et type dekke som har mange anvendelsesområder og kan benyttes på kjørearealer, fotgjengerområder, sykkelveger, parkeringsplasser, samt innendørs og utendørs handleområder. Innenfor begrepet steindekke skiller vi ofte mellom fire hoved dekketyper. Disse dekkene er dekker av belegningsstein av betong, dekker av heller av betong, dekker av gatestein av naturstein og dekker av plater av naturstein. For hver av de fire hoved dekketyperne finnes det også ulike varianter, med ulike egenskaper. Dekkene har ulike bruksområder, og det er ofte ønskelig å bruke en kombinasjon av forskjellige belegninger innenfor samme område for å tilfredsstille alle behov. Begrensningene for dekkene bestemmes ofte ut ifra trafikkhastigheten, trafikkmengden og tillat aksellast [6, side 7 og 8].

Fordelen med belegningsstein i betong i forhold til dekke av naturstein eller heller, er at dekke vil være fleksibelt samtidig som det har høy trykkstyrke. Det vil derfor være mer anvendelig som dekke på industriområder hvor det ofte ferdes tung last, eksempelvis havneområder, oppstillingsplasser for fly og andre terminaler for håndtering av gods. På slike områder er det også ofte å foretrekke dekker av belegningsstein i forhold til asfalt, som er enda mer fleksibelt. Asfaltdekke kan gi etter på steder hvor det blir utsatt for mest belastning, og det vil etter tid formes «spor» på utsatte områder. Samt kan et asfaltdekke i større grad blir påvirket av været, både ved kulde i form av frostsprengning og ved varme da asfalten kan bli mer plastisk. En annen fordel med belegningsstein i betong er at den kan bli levert i et stort utvalg av tykkelse, farger og former, og kan dermed gi forskjellige visuelle uttrykk etter ønske [6, side 8].

2.2 Låsestein og ikke låsestein

Vi skiller også mellom låsestein og ikke låsestein. En låsestein har egenskapen at når steinen er lagt som et dekke vil selve steinen gi en låsing av dekke i begge retninger. En rektangulær belegningsstein regnes som en ikke låsestein. Det vil si at selve steinen gir ingen låsing av dekke. Dekke legges dermed med et bestemt låsemønster som sikrer låsing av dekket [6, side 14].



Figur 48: Låsestein.

Hentet fra [6, side 14].

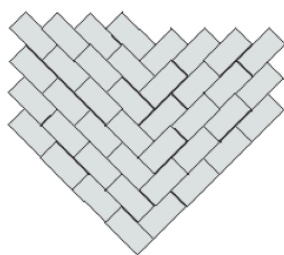


Figur 47: Ikke låsestein,

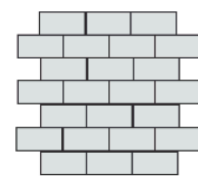
Hentet fra [6, side 14].

Leggemønster er viktig for dekkets funksjonelle egenskaper, samt dekkets utseende.

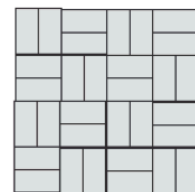
Leggemønstrene kan brukes både med dekker av låsestein og dekker med ikke låsestein. Noen av leggemønstrene er gunstige for arealer hvor det i hovedsak ferdes forgjengere, mens andre mønstre er lagt med tanke på biltrafikk. Ved dekker som blir utsatt for vridningskrefter er det viktig at det blir brukt låsestein for å unngå ødeleggelser av dekket [6, side 15].



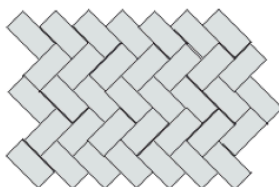
Diagonalmønster
Tåler biltrafikk godt



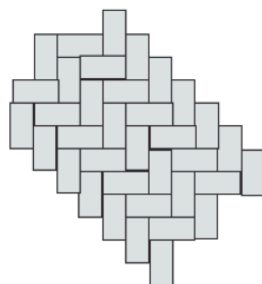
Rekkemønster/Løperforband
Tåler biltrafikk middels godt



Parkettmønster
Tåler dårlig biltrafikk



Fiskebeinsmønster
Tåler biltrafikk godt



Albuemønster
Tåler biltrafikk middels godt

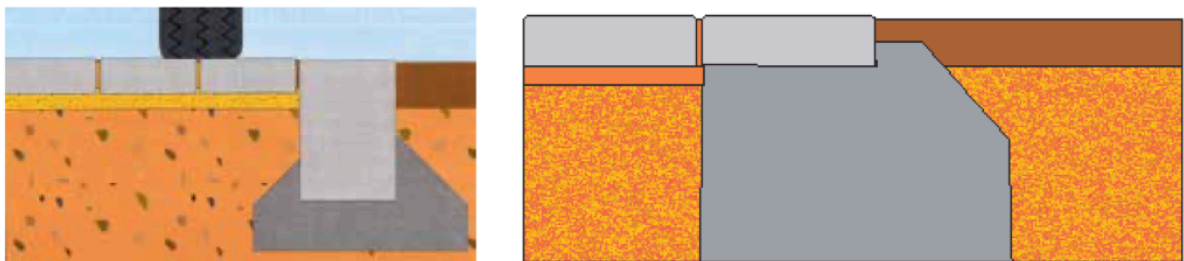


Figur 49: Eksempler på leggemønstre for belegningsstein.

Hentet fra [6, side 15].

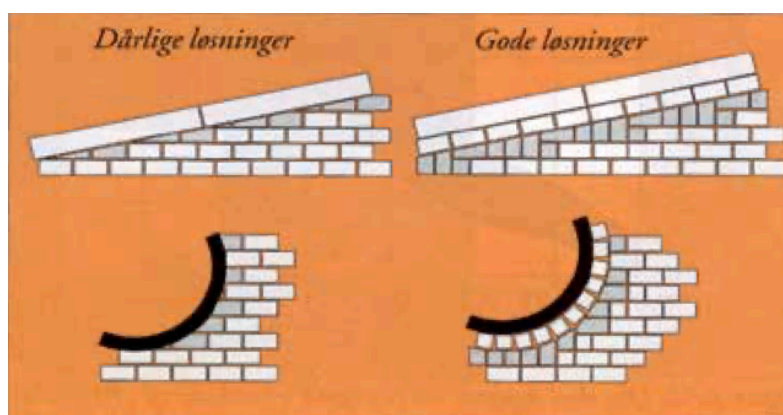
2.3 Kantstein

Dekker av belegningsstein legges med kantsteiner som en avslutning på dekket. Kantsteinen skal sikre en god innesperring av dekket på alle kanter, samtidig som det gir en visuell fin avslutning på dekket. En kantstein bør være motstandsdyktig og stiv for å sikre minimalt med bevegelse på dekket. En kantstein som brukes til kantavslutning har ofte en vannrenne til å samle opp overvannet som renner på dekket. I noen tilfeller foretrekkes det at kantsteinen har en forhøyning, da er den beste løsningen å sette en kantstein med vertikale sider og en overflate som flukter med resten av dekket. I andre tilfeller ønsker man at dekke og kantsteinen er i samme høyde [6, side 15 og 16].



Figur 50: Eksempler på kantavslutninger med nedsenket kantstein.
Hentet fra [6, side 16].

Kantavslutninger mot tilstøtende dekker krever tilpasning i forhold til leggemønsteret i dekke. God planlegging på dette område sikrer riktige løsninger både estetisk og funksjonelt [6, side 16].



Figur 51: Eksempler på dårlige og gode tilpasninger til kantavslutninger.
Hentet fra [6, side 16].

2.4 Fuger

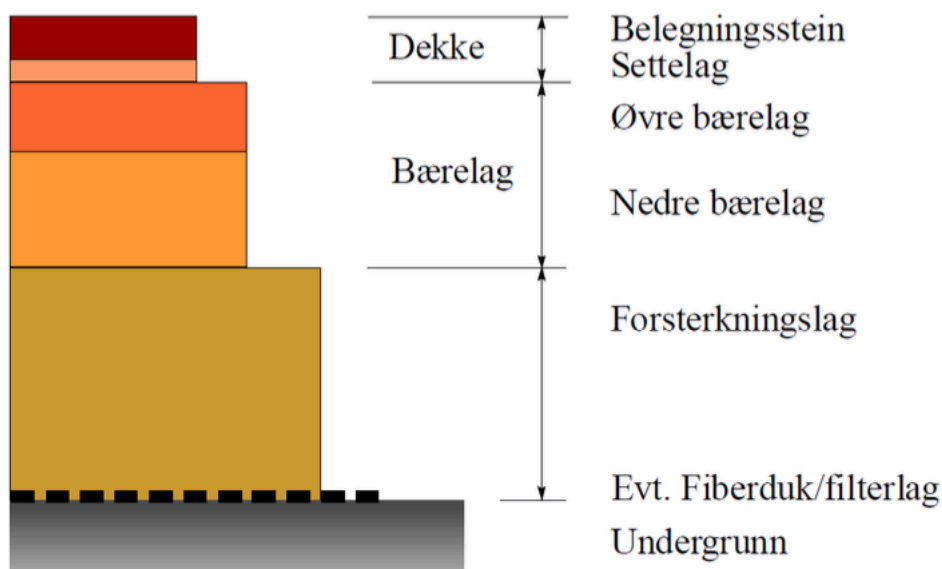
Fugene i et dekke er avstanden mellom belegningsproduktene i et ferdig dekke. Fugene skal hindre kontakt mellom belegningssteinene for å danne et mer fleksibelt, men stabilt dekke. Fugene er også med på å gi en liten grad av toleranse til dekket, som skyldes dimensjonstoleranse på produktet, og utførelsen av produktet. Vi kan skille mellom standardfuger og dekorasjonsfuger. Standardfuger er fuger som er mellom to og fem millimeter, disse fugene er nødvendige for at dekke skal fungere som et elastisk dekke med maksimum lastfordeling. Fugene fylles opp med fugemasse til toppen av belegningssteinen for å danne et stabilt og fast dekke. Dekorasjonsfuger er over fem millimeter tykke og brukes til å fremheve mønsteret og produktet i dekke. De brukes for å skape et fint visuelt dekke, i tillegg til å skape stabilitet [7, side 29].

Fugemassen fordeles på dekket etter at belegningssteinen er lagt, den blir deretter komprimert og fordelt riktig ved hjelp av en vibroplate med gummibelegg. Det legges et overskudd av fugesand på dekket, slik at alle fugene blir fylt god opp og er godt komprimert. Fugingen kan enten legges som tørrfuging eller våtfuging. Tørrfuging er tørket fugesand og brukes på et helt tørt dekke, dette er ikke vanlig i Norge da været her i stor grad vil gi utfordringer med å opprettholde tørken. Våtfuging er bedre egnet i Norge, da dette innebærer bruk av vann ved fuging. Fugesanden blir plassert ned i fugene ved hjelp av vannet og børsting, vannet vil hjelpe til med å få riktig mengde fugemasse i hver fuge. Vannmengden som brukes kan enkelt reguleres til forholdene for å oppnå et best mulig resultat. Det vil ofte være en relativt stor vannmengde som blir brukt i forbindelse med fugingen, men vannet brukes ikke med høyt trykk [6, side 17].

Fugesanden som brukes til å fylle fugene til dekket, er tilpasset den gitte fugebredden. Kornfordelingen kan derfor være noe forskjellig i fugesanden, avhengig av hvilket dekke som skal fuges. De første månedene etter dekke er lagt vil være den mest kritiske perioden. Her vil eventuelle feil eller mangler oppdages. Når dekket blir tatt i bruk og utsatt for trafikk og belastning, vil det være en risiko for at fugesanden blir sugd opp av fugene og flytter på seg. Da kan vi oppdage fuger som vil være delvis fylt. Dette kan være kritisk for dekket om det ikke etterfylles snarest. For å unngå at fugesanden flytter på seg, blir det ofte tilsatt en mindre andel finstoff i fugesanden [6, side 17].

2.5 Fundament

Fundament er den delen av et byggverk som overfører vekten av bygget og annen belastning som bygget utsettes for, ned til grunnen [8]. For å sikre et godt fundamenteringsgrunnlag er det viktig at overbygningen er gjort riktig. En overbygning med dekke av belegningsstein betraktes som en fleksibel konstruksjon, samtidig som det skal tåle statiske og bevegelige belastninger med et høyt kontaktrykk. Blir overbygningen for myk kan det føre til at belegningssteinene avskaller og bryter ut ved belastning. Det vil da være dårlig fundamentering hvor belastningen ikke blir riktig fordelt i de ulike lagene [6, side 13]. Overbygningen for et dekke med belegningsstein består av et settelag, bærelag, forsterkningslag og en eventuell fiberduk/filterlag mot undergrunnen.

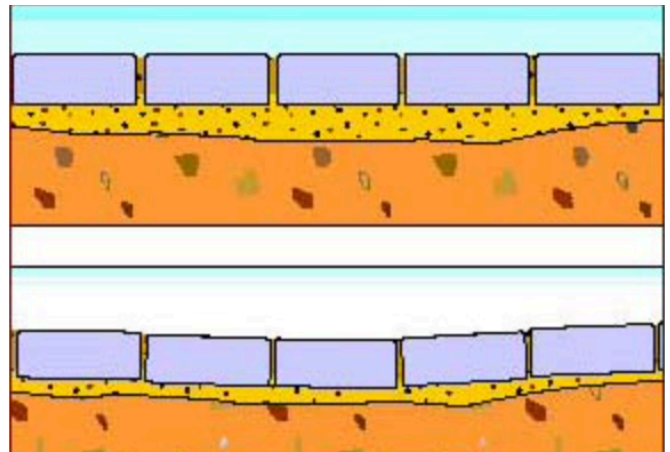


Figur 52: Overbygning.

Hentet fra [8, side 13].

2.5.1 Dekke

Dekket består av belegningsstein og settelaget, dette laget fungerer som et slitelag. Hovedformålet med settelaget er å jevne ut ujevnheter fra bærelaget for å danne en jevn overflate for belegningssteinen. Minste tykkelse for settelaget er 20 mm, denne tykkelsen er nødvendig for å kunne jevne ut over bærelaget. Maksimal tykkelse er på 40 mm, det skal ikke overstige dette da for tykt settelag gir større sannsynlighet for økt spordannelse



Figur 53: Eksempel på riktig og feil utførelse av settelag.

Hentet fra [9].

mnga for store

variasjoner i tykkelsen på settelaget. Da dette kan føre til deformasjoner og kan videre føre til tydelige ujevnheter i form av fordypninger. Settelagets materiale bestemmes av hvor mye trafikk som skal ferdes på dekke og hvor mye belastning det skal bli utsatt for. Dekker hvor det skal ferdes lite trafikk, består settelaget av normal sortering 0-8 mm knust stein eller knust grus. Det skal være minimalt med finstoff, materiale med kornstørrelse mindre enn 0.063 mm. Når det skal være så lite finstoff som mulig betyr det at materialet skal bestå av mindre enn 6% med finstoff. Ved dekker hvor det skal ferdes mer hyppig trafikk som gir en større belastning, skal settelaget bestå av sorteringer mellom 0-11 mm knust grus eller knust stein. Når settelager er fordelt over bærelaget, komprimeres det før belegningssteinen blir lagt. Belegningssteinens form og tykkelse har noe å si for stabiliteten og forventet levetid på dekket. Valget av belegningssteinen gjøres ut ifra forventet trafikk og belastning. Forventes det store horisontale belastninger eksempelvis bremsing, akselerasjon og vridning, bør belegningssteinen være en låsestein for å oppnå et mest mulig stabilt dekke, uten ødeleggelser [9].

2.5.2 Bærelag

Bærelaget ligger mellom dekke og forsterkningslaget, og fordeler lasten fra dekke ned til forsterkningslaget. Hvis dekket er dimensjonert for stor belastning deles bærelaget inn i øvre og nedre bærelag [7, side 13]. Hovedfunksjonen til bærelaget er å oppta spenninger knyttet til ringtrykk, samtidig som det fordeler lastene til de underliggende lagene [10, side 297]. En av feilene som gjentas ved dimensjonering av bærelag er at belastningene som dekket skal påføres blir undervurdert, dette gjelder særlig for fortau og andre gangarealer. Selv om område vil være beregnet for lettere laster, kan dekke bli utsatt for større belastninger ved vedlikeholdsarbeid, renovasjonsbiler, snøbrøyting, flyttebiler, og lignende laster [11, side 11]. Ved dekker bestående av naturstein eller belegningsstein i betong stilles det strenge krav til kontroll og dokumentasjon av bærelagets jevnhet samt måling av bæreevnen før belegningssteinene legges [6, side 11].

2.5.3 Forsterkningslag

Forsterkningslaget er laget under bærelaget og over undergrunnen. Hovedfunksjonen til forsterkningslaget er å fordele trafikkbelastningen slik at undergrunnen ikke overbelastes [10, side 299]. Hvis undergrunnen blir overbelastet kan det oppstå deformasjoner som kan medføre ujevnheter på dekkets overflate. Forsterkningslaget skal bestå av sterke og stabile materialer, og være utført på en slik måte at ikke nedknusing eller deformasjoner i forsterkningslaget medfører redusert kjørekomfort i dimensjoneringsperioden [10, side 198]. Materialvalget i et forsterkningslag består av knust eller uknust grus eller knuste steinmaterialer fra berg, korngraderingen varieres ut fra vegens hovedformål og tilpasses deretter. Knuste steinmaterialer er materialer som kult, pukk og samfengt knust berg, disse materialene kan brukes i forsterkningslaget for alle trafikkgrupper, fra A til F, men selve oppbyggingen kan være ulik [10, side 198]. Et forsterkningslag variere fra å ha en tykkelse på 30 cm til en tykkelse på 110cm. Bæreevnen til forsterkningslaget deles inn i grupper fra 1-6, der 1 er gruppen som krever et mindre sterkt forsterkningslag, mens gruppe 6 krever et mer solid forsterkningslag. For mer detaljert beskrivelse av de ulike gruppene og materialvalg av forsterkningslaget se Tabell 534.1 i Statens Vegvesen Håndbok N200 [10, side 160].

2.5.4 Filterlag og frostsikring

En fiberduk brukes i hovedsak til å separere materialer i underbygningen og i forsterkningslaget og opererer dermed som et filterlag. Målet er å begrense materialene i de mest finkornete laget i å trenge inn i det grovere laget, samtidig må vann enkelt kunne infiltrere gjennom slik at det kan føres ut til drengroft. Det kan også være nødvendig i noen tilfeller å separere undergrunnsmaterialer fra frostsikringslag eller lag for grunnforsterkning. Kravet til fiberdukens styrkeegenskaper avhenger av bruksområde, trafikkmengde og undergrunnens fasthet [10, side 190].

Hensikten med frostsikring er å hindre at frostnedtrengning medfører skader på veg, dekke eller andre konstruksjoner. Skadene oppstår ofte som følge av telehiv eller reduserte bæreevneegenskaper i teleløsningsperioden. For å hindre frostnedtrengning legges det et eget frostsikringslag som hindrer frosten i å trenge ned i vegens underbygning. Frostsikringslaget kan bestå av ett lag, ofte av materiale knust grus eller knust berg. Frostsikringslaget kan også bestå av et øvre frostsikringslag, også kjent som et isolasjonslag, og et nedre frostsikringslag, også kjent som utfrysningsslag. Materialene som blir brukt til isolasjonslaget kan være skumglass, lettklinker eller plater av ekstrudert polystyren, XPS. Over isolasjonslaget skal det spesielt legges vekt på at materialene ikke forringes under anleggstrafikken eller ved andre deler av anleggsarbeidene [10, side 194].

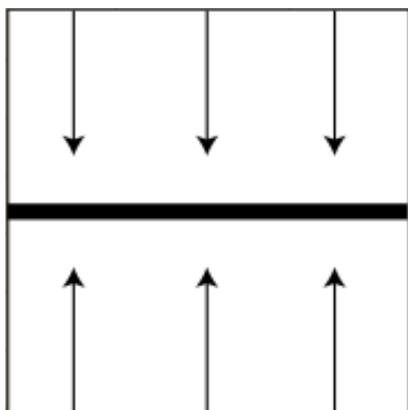
2.5.5 Undergrunn

Undergrunnen består av eksisterende masser i grunnen. Undergrunnen ligger under fiberduk og forsterkningslaget. Undergrunnen kan forbedres før det videre bygges en overbygning. Eksempler på tiltak som kan forbedre allerede eksisterende grunnforhold er komprimering, senking av grunnvannstanden, stabilisering av leire ved innblanding av kalk. Formålet er å oppnå en redusert tykkelse på nødvendig overbygning [10, side 306]. Materialer i undergrunnen varierer fra sted til sted, men man kan i hovedsak skille mellom steinfylling, morene, grus, sand, leire og silt [10, side 160].

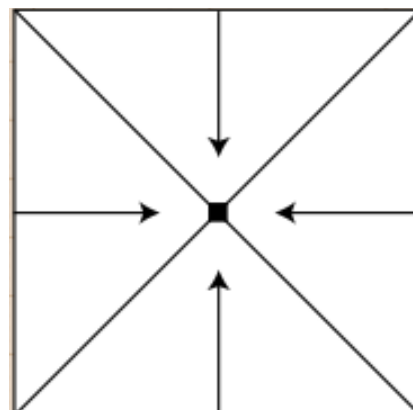
2.6 Håndtering av overvann

Dersom dekker av belegningsstein ikke er tilstrekkelig planlagt og utført med tanke på overvannshåndtering kan det by på utfordringer. Da kan et dekke hvor det samles opp vanndammer være til stor irritasjon, samt ved kjølige temperaturer kan det dannes svært glatte partier. Derfor er det viktig å sikre en tilfredsstillende vannavrenning med et resulterende fall på dekket, slik at vannet ledes bort på en tilfredsstillende måte fra alle lavpunkter. Riktig valg av fugeretning på et dekke av belegningsstein kan være med å bidra positivt til rask transport av overvann, ved å fuge i riktig retning i forhold til fallretningen [6, side 10]. I Statens Vegvesen Håndbok H200 finner vi Tabell 402.1 som viser plan for overvannshåndtering og drenering på ulike plannivå. Denne tabellen angir krav til dokumentasjon som skal foreligge i de forskjellige planfasene for å sikre en riktig håndtering av overvannet. Tabellen er grunnlaget for planlegging, dimensjonering, prosjektering, bygging og kontroll gjennom planprosessen, samt videre drift, vedlikehold og utbedring [10, side 81]

God avrenning kan sikres ved fall mot tilstøtende terreng, fall mot sluk, eller fall mot slisserenner. Dekket må ha et fall på minimum 2.0% for å sikre en tilfredsstillende avrenning. Avrenningene skiller ofte mellom linjeavrenning og punktavrenning. Linjeavrenning er fall mot en linje, som gjør det enklere å etablere tilfredsstillende fall. En ulempe med linjeavrenning kan være slamtømming, som bør utføres regelmessig. Punktavrenning brukes når dekket etablerer et mønster av slukene på dekket, her kan det være vanskeligere å etablere gode fallforhold. Slamtømming på et dekke med punktavrenning vil være enklere og trengs ikke å gjennomføres like ofte som ved linjeavrenning [11, side 30].



Figur 55: Linjeavrenning.
Hentet fra [11, side 30].



Figur 54: Punktavrenning.
Hentet fra [11, side 30].

2.7 Produksjon

En belegningsstein av betong framstilles av stein, sand og vann, som bindes sammen av sement fremstilt av kalkstein. Betong er et materiale som er enkelt å bearbeide til ønsket styrke, tetthet, overflatestruktur, og ønsket form [12]. Det skilles mellom to ulike faser i produksjonen av belegningsstein i betong. Den første fasen omfatter produksjon av betongmasse som er egnet til utstøping i former for belegningsstein. Den andre fasen omfatter utstøpingen, herdingen og etterbehandling av belegningssteinen, frem til det foreligger et ferdigstilt produkt på markedet [11, side 43].

Den mest utbredte støpeteknikken er tørrstøpemetoden. I denne metoden brukes jordfuktig betong, som gjør det mulig å gjennomføre raske utstøpinger av produktet. Denne type betong er tørr og har et vann/sement forhold som gir en kraftig betongstyrke. En annen metode er våtstøpeteknikken som er når bløt betong blir brukt. I denne metoden støpes flytende betong i formene for deretter å trekke ut deler av vannet fra betongen gjennom filter. Deretter tas produktene ut av formene [11, side 43].

2.8 Drift og vedlikehold

2.8.1 Sommerdrift

Over tid vil det samles sand, finpukk, søppel og lignende på et dekke. Ved områder utenfor tettbygde strøk vil det hovedsakelig være et behov for å fjerne sand og finpukk som ligger igjen etter vinterdriften. I de mer urbane områdene kreves det mer og hyppigere vedlikehold, det kan være behov for ukentlig eller daglig fjerning av søppel, spyling og feiing. De fleste feiemaskinene i dag er utstyrt med sug og en form for spyling for å være innenfor miljøkravene. Nye dekker er mer sårbare, det gjelder særlig fugemassen som er lagt. Blir det brukt en feiemaskin med kraftig sug kan man risikere at noe av fugesanden suges ut. Derfor vil man de seks første månedene være svært varsomme ved bruk av feiemaskin med sug på et dekke med belegningsstein. Etter hvert som dekke har satt seg mer og fått en bedre fasthet, vil risikoen for at fugesanden blir sugd ut mindre.

Et dekke av belegningsstein vil også trenge rengjøring regelmessig, da det samles mye svevestøv, gummiavsetninger fra trafikken, sot og andre luftforurensninger som etterlater et mørkere og mer grått utseende på dekket. Dekket vaskes da med vann og børste eller høytrykksspyling, dette sammen med rengjøringsmidler vil fjerne de fleste forurensningene. Det foretrekkes å bruke rengjøring med børster med bust av polypropylen fremfor høytrykksspyling, da det er strenge krav på hvordan høytrykksspylingen skal utføres. Utføres høytrykksspylingen feil og dekket utsettes for vannstråler med for høyt trykk, kan det risikere at partikler slås ut av overflaten og endrer belegningens overflatetekstur. Dermed vil fremtidig rengjøring blir vanskeligere, samt belegningen vil få et nytt utseende [6, side 60 og 61].

2.8.2 Vinterdrift

Vinterdriften handler om å sikre dekkenes funksjon på vinterstid, og innebærer blant annet snørydding, fjerning av issåle og sikring mot glatte dekker. Snørydding gjelder både manuell og maskinell fjerning av snø. På dekker av belegningsstein kan maskinell fjerning av snø gjennomføres med plog, snøfreser eller børster. På dekker der belegningen er noe ujevn og belegningssteinene har et høydesprang mellom seg er det en større risiko for at snøryddingsskjæret støter mot de oppstikkende kantene, som kan føre til avskalling på steinene, eller rive opp steinene. Hvis målet er å få dekke helt fjernet for snø, er det best å bruke en slapseplog eller børster for å oppnå dette. Det har blitt mer og mer normalt de siste årene å bruke større og tyngre utstyr til drift på vinterstid. Dekker hvor det er dimensjonert for lett trafikk er det viktig å begrense og tilpasse valget av snøryddingsutstyr for å unngå overbelastninger på dekke, som kan føre til ødeleggelser [6, side 59]

Hvis snøen ikke blir tilstrekkelig fjernet på trafikkområder kan snøen etter hvert bli pakket og komprimert slik at det vil dannes en issåle på dekke. En slik issåle som har bygget seg opp under et snøfall krever redskap som kan være skadelige for belegningen ved fjerning av isen. Derfor er det viktig å bruke tiltak som kan forhindre at dette skjer. Et viktig tiltak er preventiv salting, bruk av små mengder saltløsning eller salt før nedbør. Da hindres snøen å feste seg til dekke med belegningsstein og vil være enklere å fjerne. Selv om salting og eventuelt andre kjemikalier virker godt for å hindre en issåle, er det noe man ønsker å benytte i liten grad på grunn av miljømessige grunner. For å sikre mot et glatt dekke av belegningsstein vil strøing av sand eller finpukk være et godt alternativ da det ikke påfører dekke noen form for skade. Problemet med tørr sand er at under de fleste forhold vil det ha problemer med å feste seg på underlaget, eksempelvis på steder med trafikk, hvor friksjonseffekten reduseres etter kort tid. Det vil fungere bedre om man blander inn noe salt i sanden. Det er i nyere tider kommet nye metoder som skal være effektive. En metode er blant annet strøing med fastsand, som er oppvarmet sand og sand tilsatt små mengder varmt vann som fryser når det treffer dekket og holder sandkornene fast til dekke. Gatevarme kan også være en løsning for å holde dekke fritt for is og snø, likevel vil det normalt sett ikke redusere behovet for snørydding, men er med på å hindre dannelse av issåle og sikrer mot glatte dekker uten behov for sand eller salt [6, side 56 og 60].

2.8.3 Vedlikehold

Vedlikehold for dekker av belegningsstein, og andre dekker er viktig for å opprettholde en god standard på dekket over lengre tid. Over tid vil også et godt vedlikeholdsarbeid være mer lønnsomt enn eksempelvis å legge et nytt dekke. Det gjennomføres kontroller av belegget av fagfolk jevnlig, i Norge anbefales denne befaringen å gjennomføres før og etter vinteren, da det er i denne perioden det er vanlig med størst slitasje. Hvis det oppdages skader på dekke i form av løse steiner, setninger, forskyvninger og lignende er det viktig å finne ut årsaken, slik at vi unngår at skaden er gjentakende. Et av de viktige vedlikeholdsarbeidene er regelmessig etterfuging, slik at dekke opprettholder funksjonsegenskapene sine og en lang levetid [6, side 63].

Hvis skadene allerede er oppstått, må man finne en god og lønnsom måte å fikse dekket på. Det kan oppstå lokale skader i dekke, som kan være blant annet avskallinger, steiner som er brukket eller lignende hendelser. Før man begynner å fikse på dekket er det viktig å finne årsaken til at dekke har blitt skadet. Er skaden av den typen hvor det er stor risiko for at den gjentas, kan en løsning være å legge hele dekke på ny, og gjøre eventuelle endringer i overbygningen. Er skaden forårsaket av en spesiell hendelse, eksempelvis skader etter en arbeidsmaskin, kan løsningen være å erstatte de skadede steinene med nye der det er nødvendig [6, side 65].

2.8.4 Ugress

På dekker der det ferdes lite eller ingen trafikk, kan det oppstå ugress. For å prøve å unngå ugress og minimere dette problemet, starter tiltakene for å motvirke etablering av ugress i anleggsfasen. Når dekket er lagt er det viktig at det fuges kort tid etter belegningssteinene er lagt, samt at fugene blir fullstendig fylt. Hvis fugene bare er delvis fylte med fugesand vil det gi en større risiko for å få ugress. Fordypninger i fugene medfører en risiko for at frø kan bli liggende igjen, for så å etablere et nødvendig rotsystem over tid. Et annet viktig tiltak er å sikre god avgrensning mellom belegningen og grøntområder, ved hjelp av riktig bruk av kantsteiner og lignende. Hvis ugresset likevel oppstår, finnes det flere metoder for å bekjempe ugresset. Det finnes blant annet termisk bekjempning som omfatter bruk av infrarød strålevarme, damp og varmt vann, noen ganger i kombinasjon med skum. En vekstsesong trenger normalt mellom 5-7 behandlinger, noen områder enda flere. Det er vanskelig å oppnå en god langtidsvirkning ved bruk av termisk bekjempning. Et annet alternativ er mekanisk bekjempning som er ugressluking for hånd, børsting og feiing. Ugressluking for hånd gir ofte en god langtidsvirkning, men er ikke så mye i bruk da det er tidskrevende og derfor også kostbart. Børsting av ugress forgår med en spesiell ugressbørste av en stiv børste som river opp eller sliter bort ugresset fra overflaten. Børsten fungerer best når dekket er fuktig, gjerne etter regnvær, da er det større muligheter for at noe av rotsystemet også rives opp. Denne metoden er den som regnes som den mest effektive metoden for mekanisk bekjempning av ugress. Det siste alternativet for bekjempning av ugress er kjemisk bekjempning. Tidligere ble stoffet glyfosat mye benyttet som kjemiske bekjempning mot ugress. I dag er det lite aktuelt å bruke dette middelet til å fjerne ugress. Uten glyfosat er det veldig begrenset med metoder som er rettet mot rotsystemet for ugresset. Noen av de kjemiske midlene til ugressbekjempelse kan gi rustflekker på belegningsstein og heller, noe som ikke er ønskelig [6, side 68 og 69].

3 Generelt om overvann

Overvann oppstår ved nedbør eller ved snø- og ismelting. Store mengder av dette vannet infiltrerer i grunnen, men på overflater som er tette vil dette vannet renne bort på overflaten, eksempelvis på veier, hustak, parkeringsplasser og lignende. Håndtering av overvannet i urbane områder har tradisjonelt sett basert seg på å lede overvannet raskes mulig bort i lukkede ledningssystemer. Med denne løsningen ønsket man å oppnå gode urbane miljøer og sikkerhet mot oversvømmelser, men har senere vist seg å ofte resultere i økt vannhastighet og fare for erosjon, økt overvannsavrenning i mengde og intensitet, forringelse av det økologiske miljøet, senkning av grunnvannsstanden, samt skader på vegetasjon og bygningskonstruksjoner, og utslipp og spredning av overvannsforurensninger [13, side 344].

Overvann har blitt et mer diskutert problem de siste årene da urbaniseringen øker, som igjen øker andelen tette flater, som går på bekostning av naturlig permeabel grunn, vegetasjon og trær. Den naturlige infiltrasjonen, fordrøyningen, absorpsjonen og fordampingen av regnvann og snøsmelting reduseres betraktelig og gir en stor økning i overflateavrenning på de tette flatene. Utbygging av nye områder og fortetting i eksisterende bebyggelse vil ved fortsatt bruk av tradisjonelle overvannsløsninger gi økt overflateavrenning og kan føre til overbelastning av overvannssystemer med flere tilfeller av oversvømmelse og flom, økt forurensning, setningsskader, mer kostnadskrevenne anlegg, vegetasjonsuttørking og lignende hendelser som et resultat av utilstrekkelig overvannshåndtering.

For å oppnå en helhetlig overvannshåndtering er det viktig å ivareta disse forholdene:

- Gi sikkerhet for innbyggerne.
- Sikre god bruk av vannveier ved utforming av nye urbane områder. Unngå bekkelukkinger.
- Sikre en best mulig vannkvalitet for overvann.
- Se til at flomutsatte områder ikke bebygges.
- Unngå flomskader og sikre at flommer ledes i flomveier utenom bebyggelse slik at skadene minimeres.
- Redusere overløpsdriften fra avløpssystemet.
- Ivareta vegetasjonsområder innenfor urbane områder.

Målet ved god overvannshåndtering er å sikre gode og velfungerende løsninger som tar hensyn til miljø, sikkerhet og etikk. I fremtiden er et av fokusene rettet på å fordrøye, infiltrere og redusere overflateavrenningen ved bruk av lokal håndtering av overvannet [13, side 344 og 345].

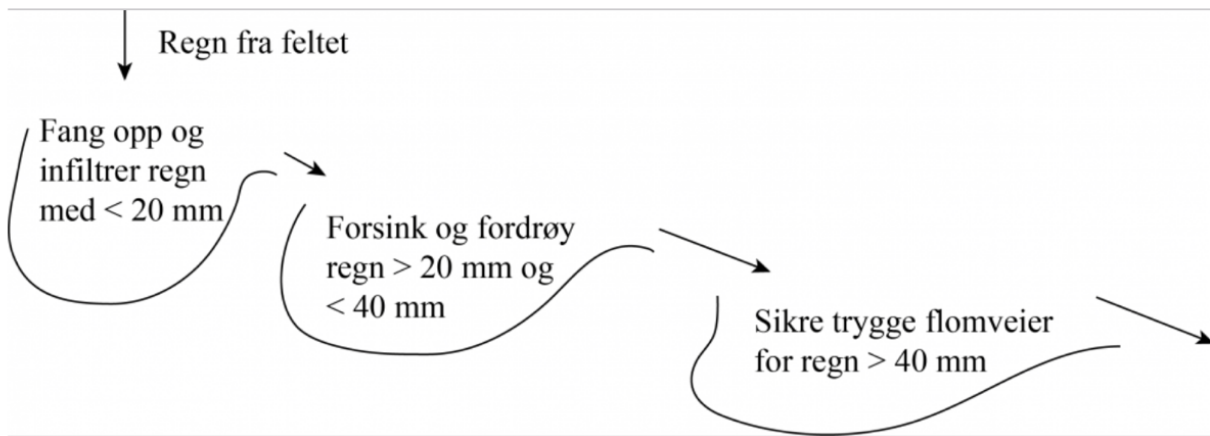
3.1 Tiltak for håndtering av overvann

Nyere tiltak for håndtering av overvann innebærer lokal overvannshåndtering. Lokal overvannshåndtering omtales ofte som LOD, som står for lokal overvannsdisponering. Håndtering av overvannet lokalt innebærer at vannet finner naturlige veier via infiltrasjon til grunnen, samt renner bort via åpne dammer og vannveger. Byvassdragene og overvannet bør behandles som en helhet for å oppnå et best mulig resultat. Dermed må det være en klar kobling mellom overvannshåndtering og areal- og landskapsplanleggerne. Vann i nærmiljøet oppleves som et positivt og attraktivt element for området. Ved planlegging og gjennomføring av god avledning for overvann gjennom åpne vannveger og dammer, kan en oppnå et bedre bomiljø, og i noen tilfeller lavere kostnader for bortskaffelse av overvann. Overvannet i urbane områder og bystrøk viser seg ofte å inneholde miljøgifter eller andre uønskede forurensninger, dette på grunn av trafikk, svevestøv, kjemikalier og lignende. Dette fører til et forurenset overvann som man ikke ønsker at skal føres ut direkte til følsomme vannforekomster. Dette overvannet bør føres til kontrollerte anlegg hvor vannet videre blir behandlet i renseanlegg [13, side 352].

For at metodene skal regnes som gode løsninger for overvannshåndtering må de være tilpasset lokale forhold og behov, de må også være bærekraftige og tilføre kvaliteter til omgivelsene. Løsningene må være utformet slik at de virker godt både ved sommers- og vinterstid, ved nedbør, flom og ved tørt vær [13, side 352].

3.1.1 Treleddsstrategi

Treleddsstrategien går ut på å redusere og forsinke avrenning ved å infiltrere mindre nedbørmengder, fordrøye større nedbørmengder og lede overvannet trygt videre til vassdrag som kan håndtere vannmengden når de andre tiltakene ikke er tilstrekkelige [14]. Prinsippet er at man i første ledd infiltrerer eller holder tilbake vannet i alt regn med en mindre nedbørmengde enn et visst antall millimeter. Når det regner med et større vannvolum enn dette, vil det overflødig vannet renne videre til åpne anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen, dette regnes som ledd to. Ved enda kraftigere nedbørmengder vil vannvolumet være så stort at de normale systemene ikke er i stand til å håndtere avrenningen alene. Dermed må man anlegge åpne flomveger som kan avlede disse kraftige regnskyllene på en trygg og sikker måte, det siste leddet regnes som ledd tre [13, side 353].

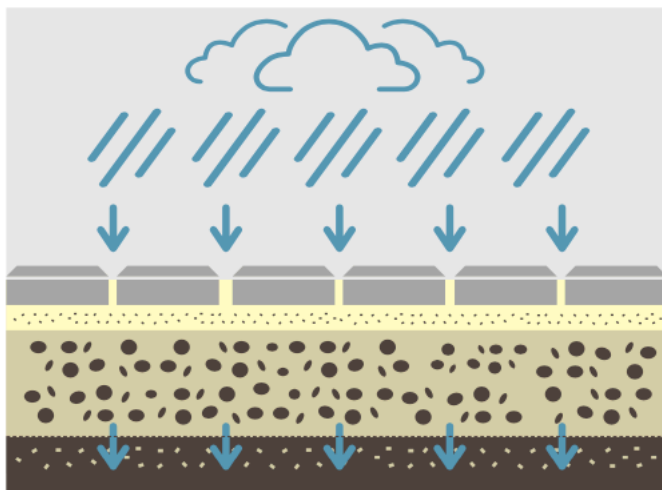


Figur 56: Illustrasjon på treledd-strategi for håndtering av nedbør.
Hentet fra [14].

3.2 Permeable dekker

Et permeabelt dekke, også kalt drenerende dekke, har de samme funksjonalitetene som et fast dekke samtidig som det lar vannet finne sin naturlige veg via infiltrasjon gjennom dekket og ned i grunnen. Overflatevannet vil fordrøyes på vei ned i det permeable underlaget og er dermed med på å redusere flomfare og renses overvannet for forurensning. En permeabel oppbygning er lik som beskrevet tidligere, hvor det er bruksområdet som bestemmer tykkelsen. Forskjellen er at belegningssteinen er spesial laget for drenering, og fugene består av permeabel fugesand. Det skilles mellom tre forskjellige permeable dekker, total infiltrasjon, delvis infiltrasjon, og ingen infiltrasjon [15, side 3 og 4].

3.2.1 Total infiltrasjon

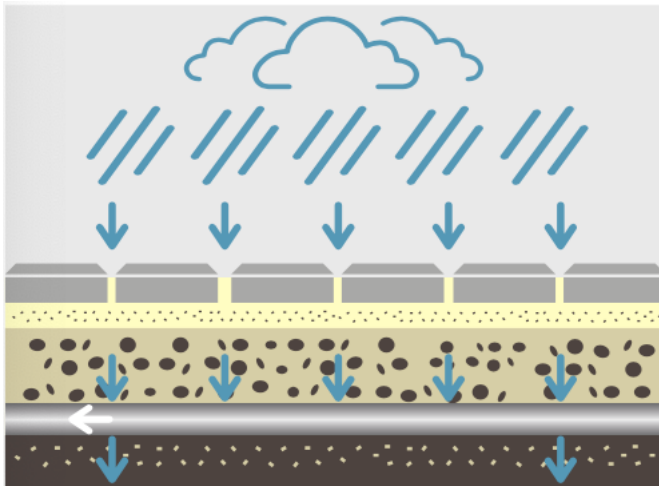


Figur 57: Total infiltrasjon.

Hentet fra [15, side 4].

Ved total infiltrasjon vil det være permeabiliteten i fugene som kan begrense for mengden vann som håndteres. I et slikt tilfelle vil grunnvannstanden være lav, og oppbygningen vil dermed være permeabel nok til at det ikke er nødvendig å ta hensyn til magasinering av overvann i konstruksjonen. Det må sørges for at materialvalget i oppbygningen ikke er vannømfintlig eller telefarlig [15, side 4].

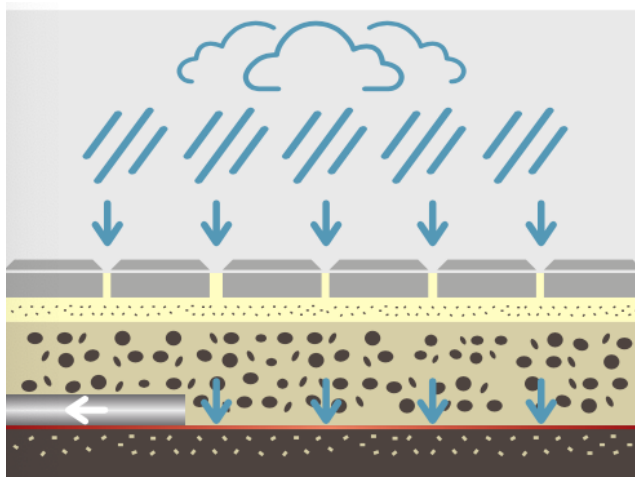
3.2.2 Delvis infiltrasjon



Figur 58: Delvis infiltrasjon Hentet fra [15, side 4].

Delvis infiltrasjon brukes når grunnvannet står for høyt slik at vannet ikke renner bort, og når materialet i oppbygningen er tettere og mindre gjennomtrengelig for vannet. I et slik tilfelle vil overvannet fordrøyes og transporteres vannrett ut til et magasin på siden av konstruksjonene, eksempelvis gjennom drensør [15, side 4].

3.2.3 Ingen infiltrasjon



Figur 59: Ingen infiltrasjon. Hentet fra [15, side 4].

Ved ingen infiltrasjon vil materialet i oppbygningen være så tett at vann ikke vil trenge gjennom, eller at grunnvannet står så høyt slik at vannet må trenge ut til sidene for å få det bort. Et eksempel på slikt underlag er leire. Dette løses ved at en tett membran legges i bunnen av konstruksjonen, og vannet dreneres ut til sidene. Denne metoden brukes også på steder hvor grunnen er forurenset eller steder hvor grunnen må beskyttes mot overvann [15, side 4].

4 Beskrivelse av belegningssteinene



Figur 60: S01 til venstre og S02 til høyre.

4.1 Opprinnelig belegningssteinstein S01

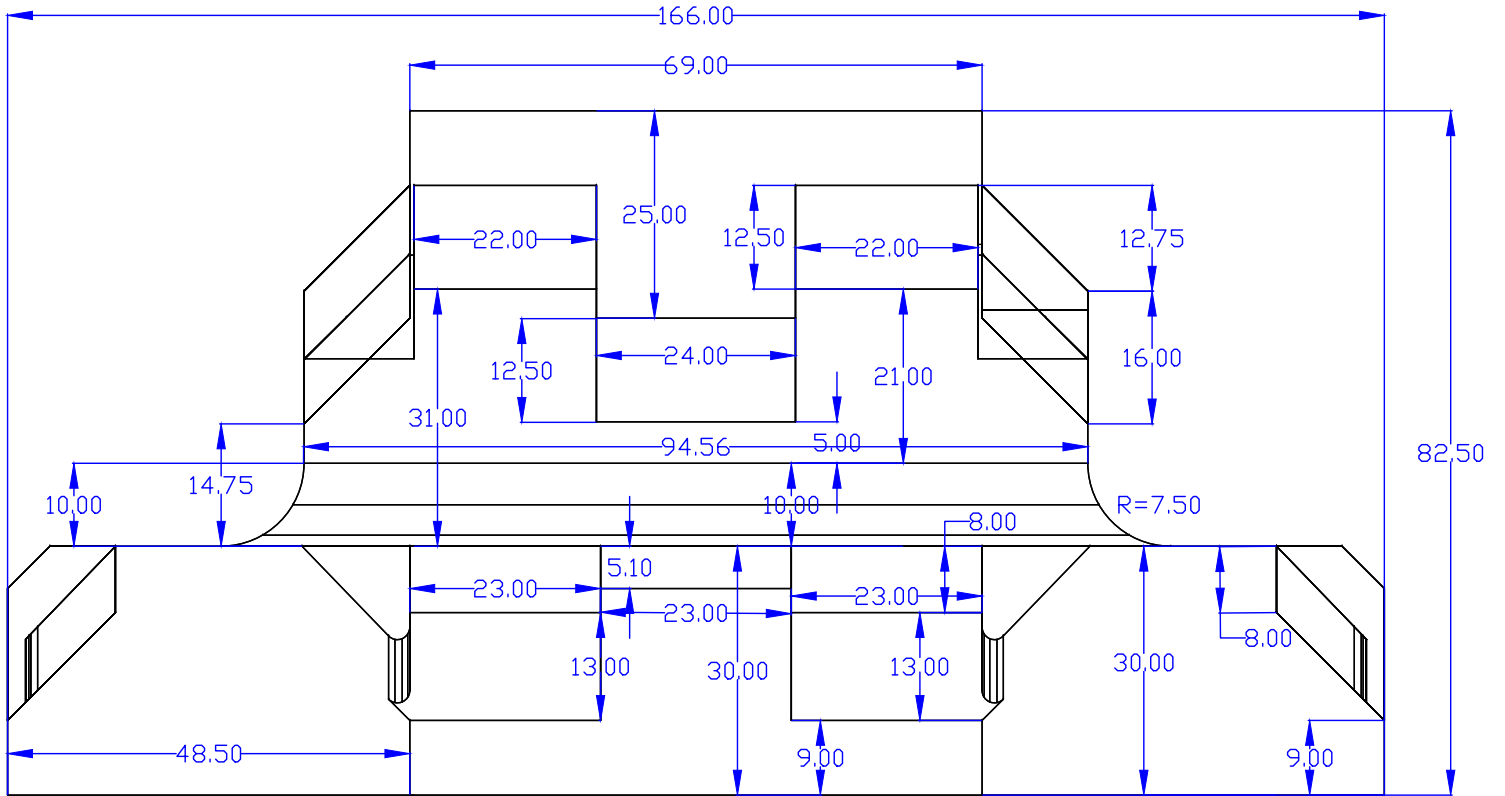
Belegningssteinen er utformet med ulik grunnflate og toppflate, samt at sidene har flere kontaktpunkter. Annenhver topp og bunn legges sammen, og låses sammen av steinens kontaktpunkter, samtidig som det dannes et hulrom til bruk av tekniske installasjoner og lignende på dekke bestående av belegningssteinen. Den ene flaten av steinen er utformet som et rektangel, mens den andre flaten består av en avlang åttekantet flate. Sidene på steinen består av til sammen 48 skråstilte kontaktpunkter fordelt på to «etasjer». Både langsidene og kortsidene av steinen har kontaktpunkter. Kontaktpunktene er dimensjonert med én millimeter toleranse slik at man hindrer at steinene ikke passer sammen i kontaktpunktene. Det er fra tidligere utført en styrkesimulerings test for belegningssteinen, se eget vedlegg.



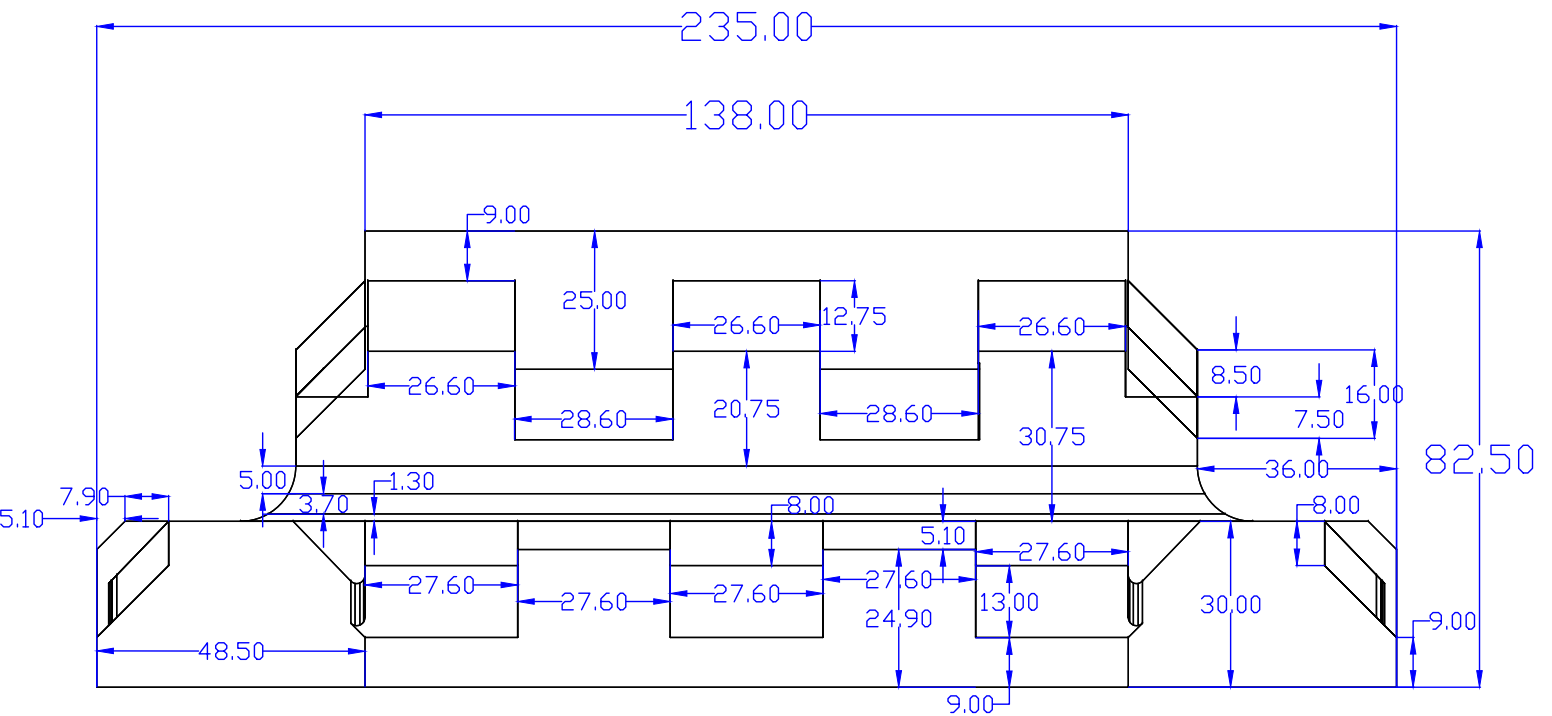
Figur 61: S01

4.1.1 Dimensjoner

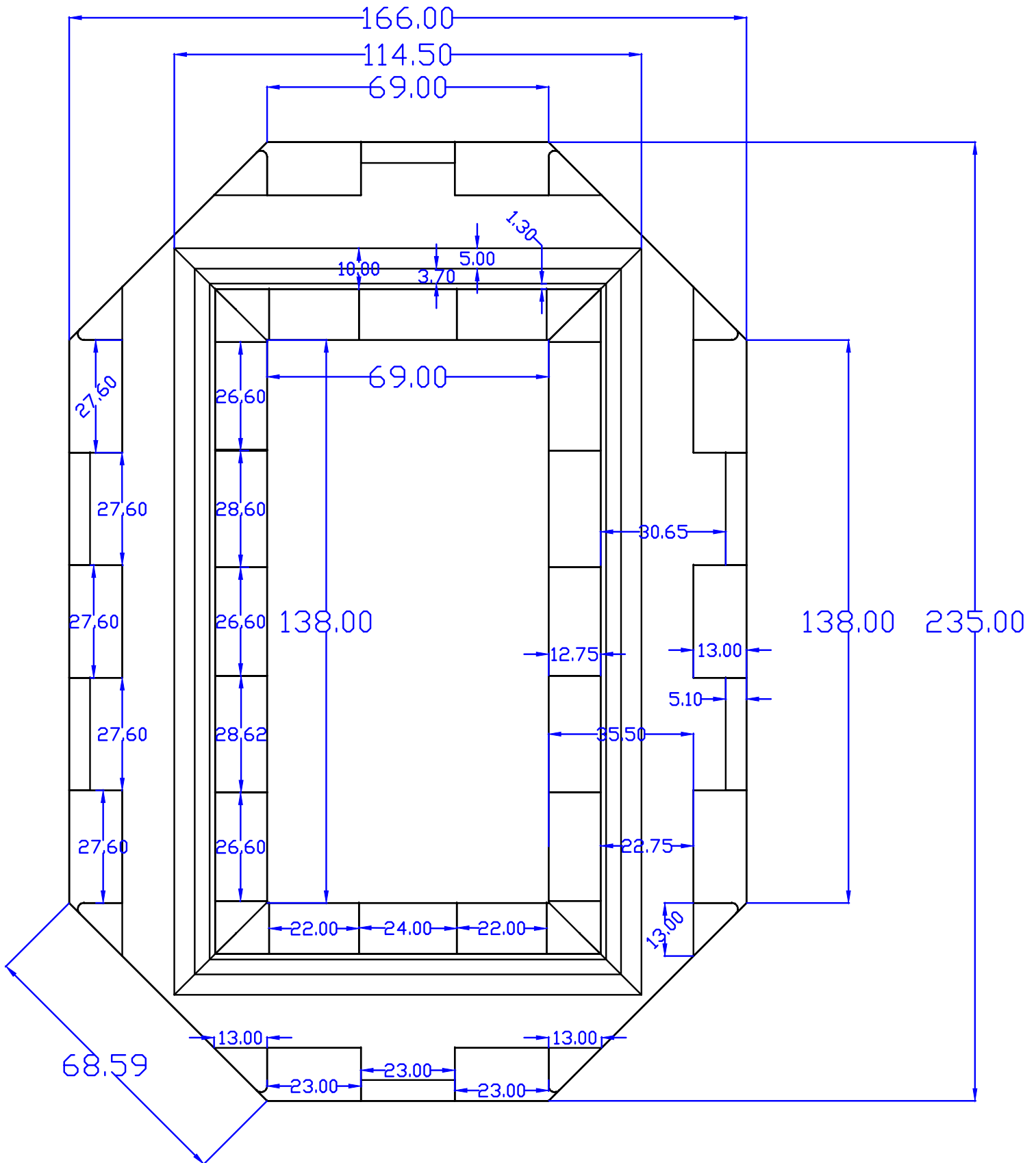
Steinen er svært detaljert og har mange ulike dimensjoner. Dimensjonene vises tydelig på figurene under. De viktigste dimensjonene er høyden på 82.5mm, på den åttekantede flaten er bredden 166mm og lengden 235mm, på den rektangulære flaten er bredden 69mm og lengden 138mm.



Figur 62: Dimensjoner S01 og S02 kortsiden.



Figur 63: Dimensjoner S01 og S02 langside.



Figur 64: Dimensjoner S01 ovenfra.

4.2 Ny belegningssteinstein S02

I denne oppgaven er det fremstilt en justert versjon av S01, som i denne oppgaven blir referert til som S02. Denne steinen er lik den opprinnelige S01, eneste forskjellen er at to av skråsidene på åttekanten er forminsket med fem millimeter per side. Dette gir åpninger i dekket på 10 millimeter, hvor hensikten er at vann enkelt kan infiltrere ned i hulrommet til steinen.



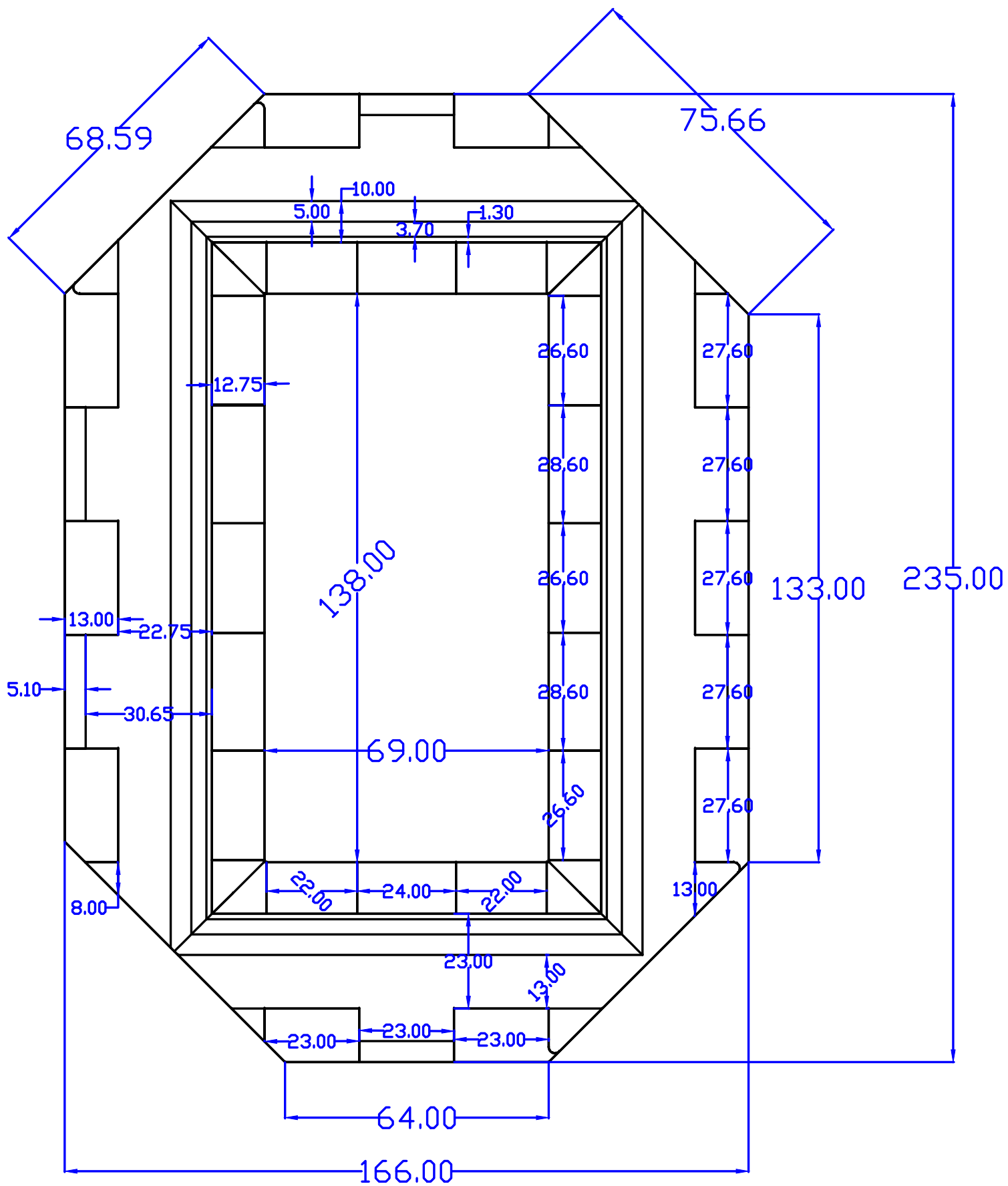
Figur 66: S02.



Figur 65: Sammenligning: S01 til venstre, S02 til høyre.

4.2.1 Dimensjoner

Dimensjonene på S02 er like fra kortsiden og langsiden som for S01, og vises i figurene 62 og 63. Legg merke til at steinen er kuttet i to av hjørnene, øverst til høyre og nederst til venstre.



Figur 67: Dimensjoner S02 ovenfra.

4.3 Belegningssteinenes egenskaper

For et dekke bestående av S01 og/eller S02 vil steinene være koblet fast i hverandre gjennom de 48 kontaktpunktene hver belegningsstein består av. Hver enkelt stein kobles videre sammen med fire andre steiner gjennom kontaktpunktene. Punktene er med på å fordele lasten som oppstår på dekket, for å danne stabilitet mellom belegningssteinene. Kontaktpunktene gjør også at belegningssteinen kan anses å være en låsestein, da alle kantene låses sammen og reduserer fare for vridning og vertikale laster. Når flere steiner legges sammen til et dekke, oppstår det en utsparing mellom steinene. Dette hulrommet kan brukes til å legge inn tekniske installasjoner og lignende. Videre i oppgaven skal det ses nærmere på om hulrommet kan være gunstig til håndtering av overvann. Tanken er at hulrommet skal opptre som en fordrøyning for overvannet, når det oppstår i store mengder over en kort periode. S01 som legges som bunnstein har ikke fugemasse mellom steinene, derfor vil vann infiltrere ned i grunnen om grunnforholdene tillater det. Hvis underlaget blir mettet eller gir ingen infiltrasjon kan hulrommene brukes til å lede vannet ut til sidene og til lukket vannsystemer som håndterer vannet videre. Dekket fuges heller ikke etter S02 også er plassert.

Belegningssteinen er også enkel å skalere til ønsket størrelse. Videre i oppgaven er det 3D-printet steiner i en mindre skala for å teste hvordan dekke ble seende ut med S02 som toppstein, samt om S01 og S02 dannet et dekke som fortsatt er stabilt etter justeringene på belegningssteinen. Det ble også printet ut ulike kantavslutninger. Se mer i kapittel 5.

4.4 Forbruk

4.4.1 Forbruk per kvadratmeter

For å finne forbruk per kvadratmeter av et dekke bestående av S01 og S02 må man finne gjennomsnittsarealet til den store overflaten sammen med den mindre overflaten, slik at man finner ut hvor mye en stein i snitt bidrar til arealforbruket på dekkets overflate. Deretter deles en kvadratmeter på det gjennomsnittlige arealforbruket.

S02 har en noe mindre arealoverflate på den åttekantede flaten enn S01, denne justeringen vil likevel ikke påvirke forbruket av antall steiner da glipen som oppstår skal ligge med det gitte mellomrommet. S02 som overflate stein vil også festes sammen med S01 som bunnstein og det vil dermed bli mest nøyaktig å bruke arealoverflaten til S01 i beregningene.

Beregning forbruk per kvadratmeter

$$A_{S01, \text{åttekant}} = 34305.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S01, \text{rektangel}} = 9522.0 \text{ mm}^2$$

$A_{gj, \text{overflate}}$ – Gjennomsnittlig overflate areal per stein

$$A_{gj, \text{overflate}} = \frac{A_{S01, \text{åttekant}} + A_{S01, \text{rektangel}}}{2}$$

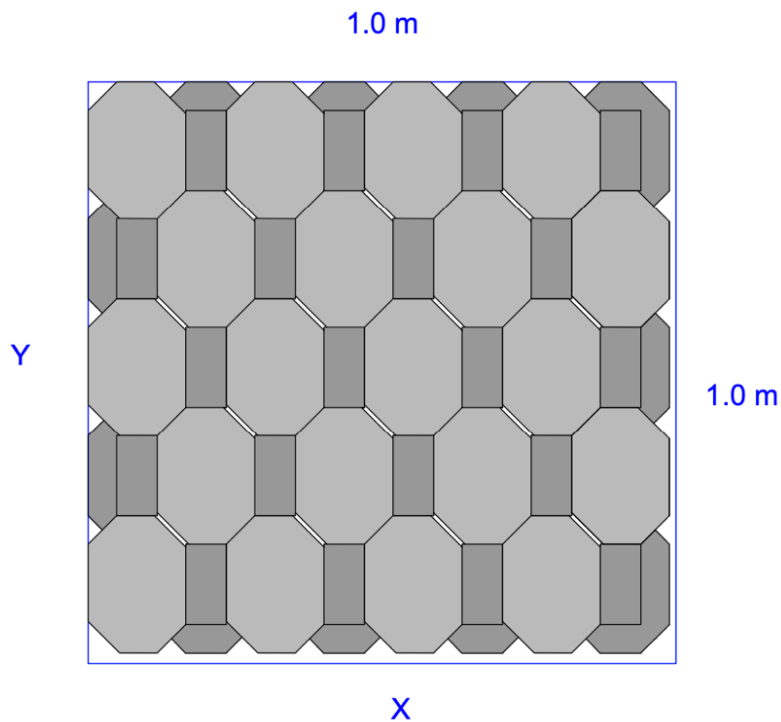
$$A_{gj, \text{overflate}} = 21\,913.75 \text{ mm}^2 \approx 0.0219 \text{ m}^2$$

$$\text{Forbruk} = \frac{1 \text{ m}^2}{A_{gj, \text{overflate}}} = \frac{1}{0.0219} = 45.66 \frac{\text{stein}}{\text{m}^2}$$

Det vil være et forbruk på 45.66 belegningssteiner per kvadratmeter.

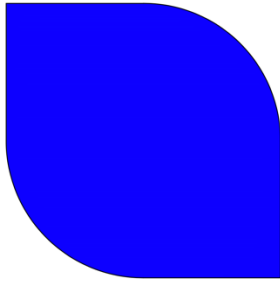
4.4.2 Antall steiner innenfor en kvadratmeter

Denne beregningen er illustrert i figur 68, og viser hvor mange hele steiner som vil ligge innenfor en kvadratmeter. Toppsteinen består av S02 og bunnsteinen består av S01. Fra figuren viser det det går med 8 steiner X-retning og 5 steiner i Y-retning. Dermed vil det totalt være plass til 40 belegningssteiner innfor en kvadratmeter, i dette tilfellet 20 stykk av S01 og 20 stykk av S02.



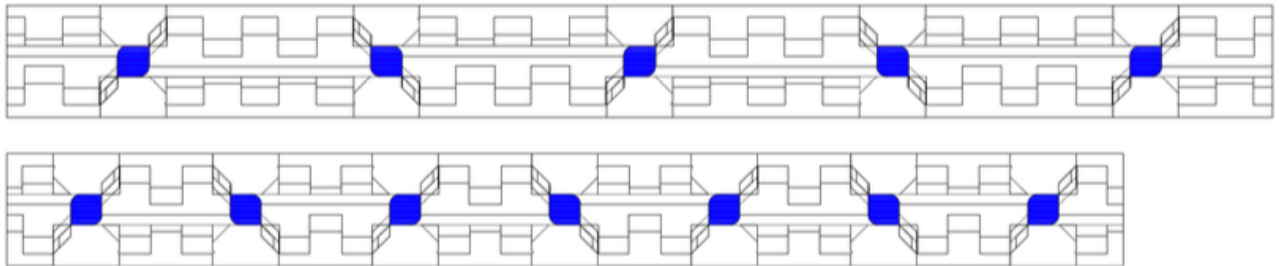
Figur 68: Antall belegningssteiner innenfor en kvadratmeter.

4.5 Hulrom



Figur 69: Hulrom

Hulrommet som dannes i dekket har en radius på 7.5 millimeter og et areal på 200.8 kvadratmillimeter. Arealet ble funnet ved hjelp av et verktøy i AutoCAD hvor man måler området til objektet. Hulrommene dannes både i lengderetning og i bredderetning, se figur 70. Da dekke senere i oppgaven skal testes med tanke på overvannshåndtering er det interessant å se hvor mye vann dekke kan romme.

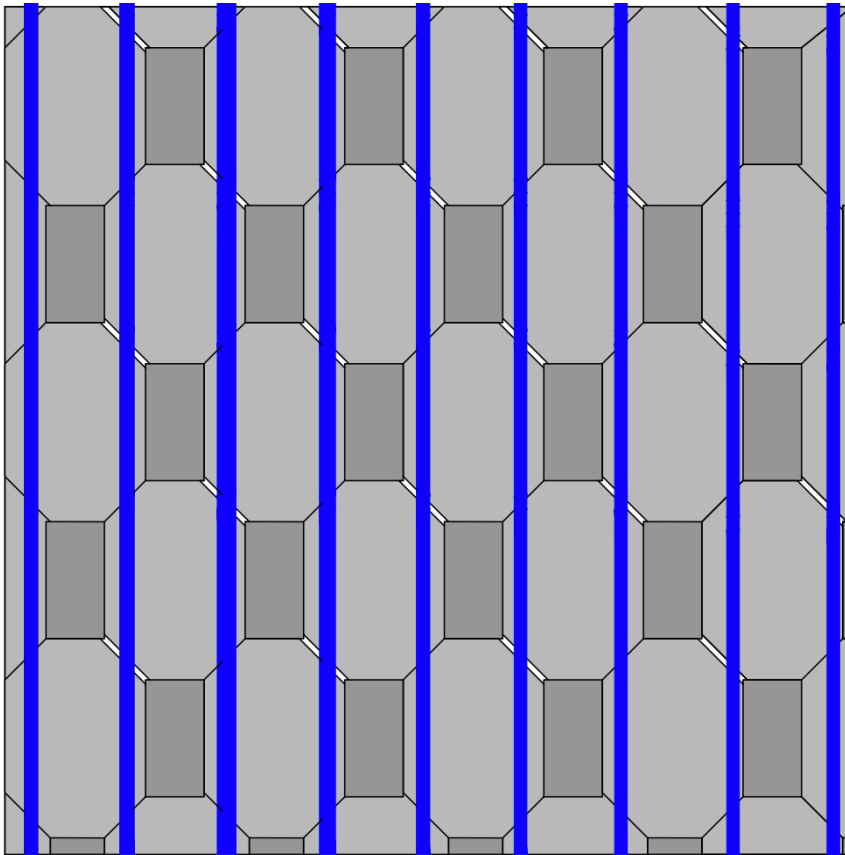


Figur 70: Hulrom vist for langsiden og kortsiden.

Hentet fra [5, side 35].

Utregning langsider innenfor en kvadratmeter:

Figur 71 viser et dekke innenfor en kvadratmeter, hvor resulterende fall gjelder for langsiden av belegningssteinene. I dette eksempelet vil det være 9 lengder, hvor hver lengde er 1 meter lang, illustrert ved de blå linjene.



Figur 71: Hulrom langsider per kvadratmeter.

V_L – Volum langsider

$$A_{\text{hulrom}} = 200.8\text{mm}^2$$

$$L_{\text{dekke}} = 1\text{m}$$

$$X_i = 9$$

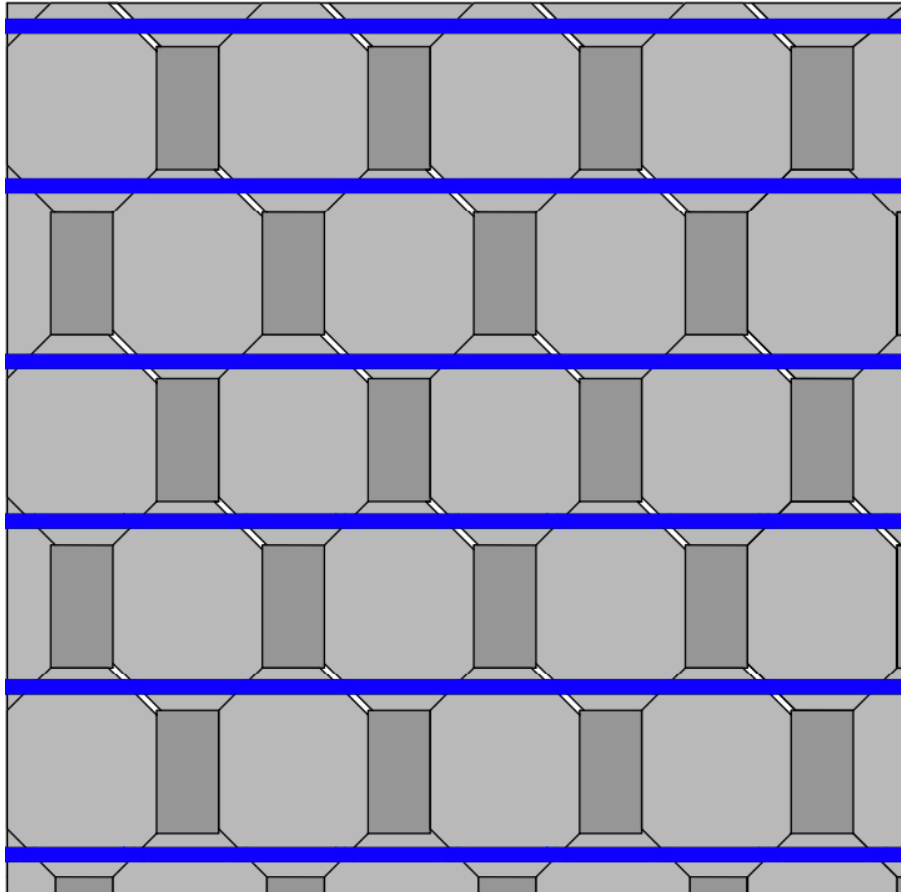
Formel:

$$V_L = A_{\text{hulrom}} \times L_{\text{dekke}} \times X_i$$

$$V_L = 0.0002008\text{ m}^2 \times 1\text{m} \times 9 = 0.0018072\text{m}^3 \approx 1.8072\text{ L}$$

Utregning kortside innenfor en kvadratmeter:

Figur 72 viser dekke innenfor en kvadratmeter, hvor resulterende fall gjelder for kortsidene på belegningssteinene. I dette eksempelet vil det være 6 lengder, hvor hver lengde er 1 meter lange, illustrert ved de blå linjene.



Figur 72: Hulrom kortside, per kvadratmeter.

V_K – Volum kortside

$$A_{\text{hulrom}} = 200.8\text{mm}^2$$

$$L_{\text{dekke}} = 1\text{m}$$

$$X_i = 6$$

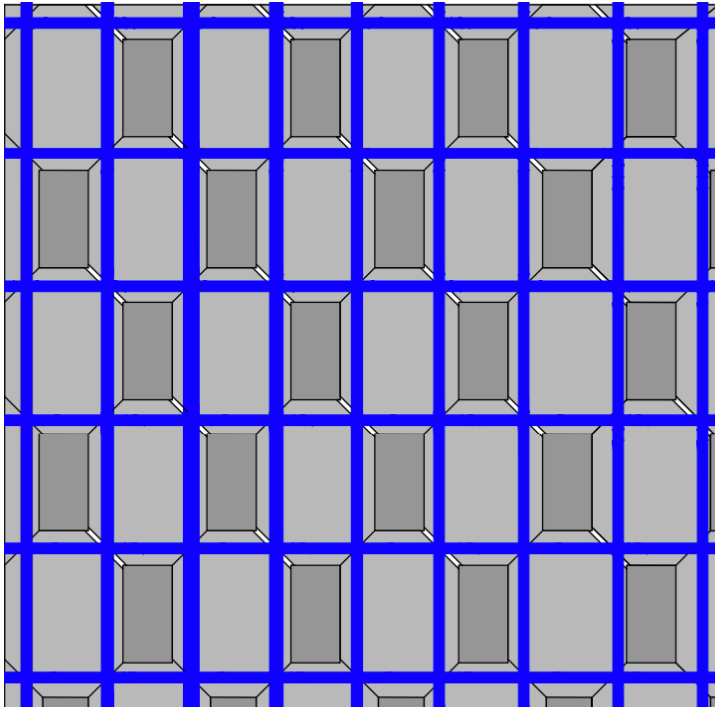
Formel:

$$V_K = A_{\text{hulrom}} \times L_{\text{dekke}} \times X_i$$

$$V_K = 0.0002008 \text{ m}^2 \times 1\text{m} \times 6 = 0.0012048\text{m}^3 \approx 1.2048 \text{ L}$$

Total vannmengde for dekke per kvadratmeter:

Figur 73 viser dekkets hulrom både for langsiden og for kortsidene, illustrert ved de blå linjene. Dette vil dermed være den totale kapasiteten dekket har til å samle vann per kvadratmeter.



Figur 73: Totalt hulrom per kvadratmeter.

V_T – Total vannmengde

Formel

$$V_T = V_L + V_K$$

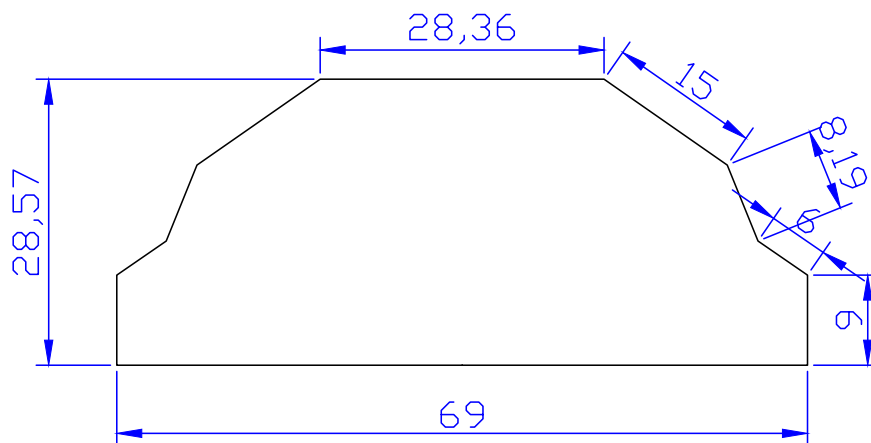
$$V_T = 1.8072 + 1.2048 = 3.012L$$

For hver kvadratmeter som legges av dekke vil det være i stand til å håndtere 3.012L vann, når begge leggeretningene benyttes. Et større område lagt med dekke av belegningssteinene S01 og S02 vil dermed ha kapasitet til å håndtere flere liter vann ved store nedbørsmengder og lignende.

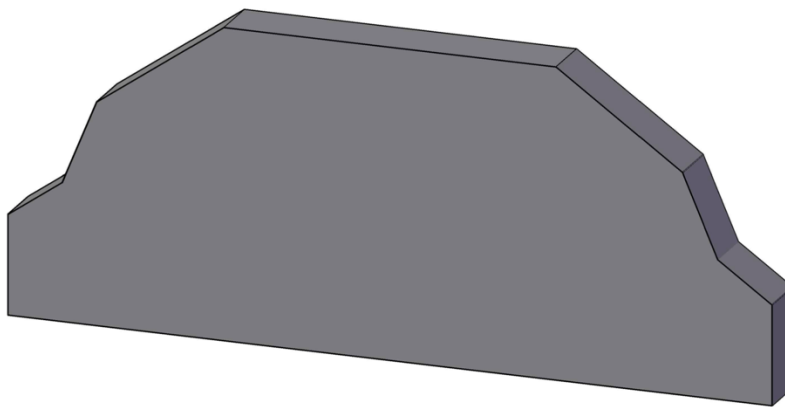
4.6 Brikke til justering

Til videre støping av belegningssteinene, finnes det fra tidligere to støpeformer til S01, som det til sammen kan støpes ut 12 steiner om gangen. For å støpe belegningssteinen S02 ble det besluttet å bruke de samme formene, sammen med en brikke til å justere to av kantene.

Dermed ble det dimensjonert en brikke som festes til formene for å støpe belegningssteinen S02. Denne brikken ble 3D-printet i et antall på 24 stykker, slik at det var nok til de 12 belegningssteinene fordelt på to former.



Figur 74: Dimensjoner, brikke til justering.



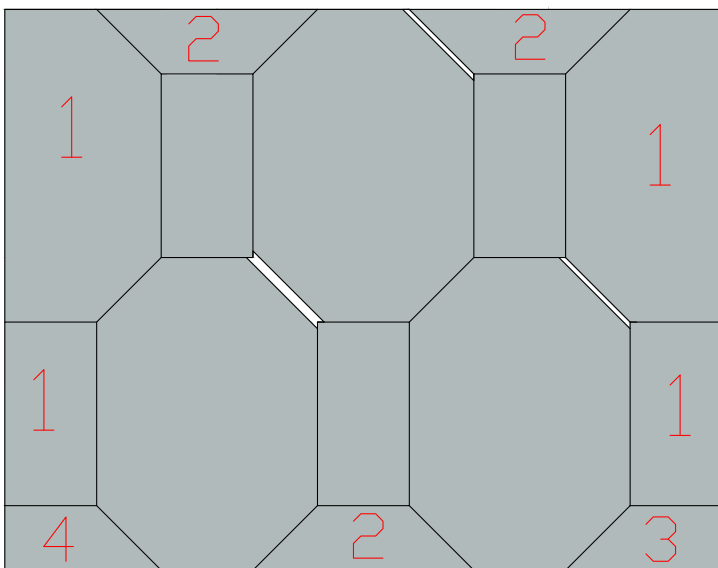
Figur 75: Brikke til justering 3D-tegning

4.7 Kantavslutninger

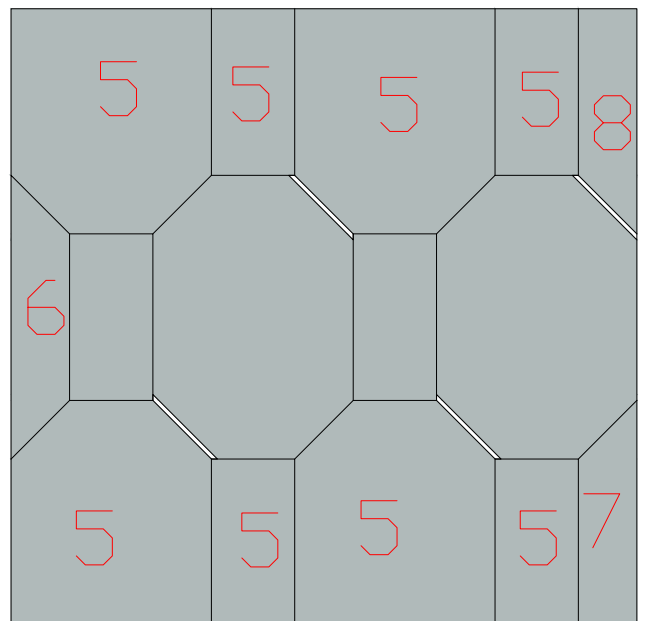
Et dekke av belegningsstein består ofte av avkappet steiner for å tilpasse dekke mot tilstøtende dekker, kummer, trær og lignende. En vanlig belegningsstein vil derfor være enkel å forme til behov slik at dekke får fine kantavslutninger mot tilstøtende områder. For et dekke bestående av S01 og S02 vil det være mer utfordrende å kappe av steinene for tilpasning.

Dette på grunn av steinenes design og at den legges annenhver med ulik arealover- og arealunderflate. En løsning kan være å lage kantavslutninger med rette linjer, slik at de enkelt kan legges mot en rettlinjert kantsikring eller mot en rettlinjert belegningsstein av en annen type. Deretter kan den rettlinjede belegningssteinen avkappes og tilpasses omgivelsene. Selv kantavslutninger med rette linjer vil kreve flere ulike avkappinger. Det finnes flere måter å løse kantavslutningene på, figurene under viser ulike kantavslutninger med rette linjer.

Kantavslutningene i denne oppgaven er avkappinger fra S01, dermed vil glipene mot kantavslutningene være 5 millimeter i stede for 10 millimeter.

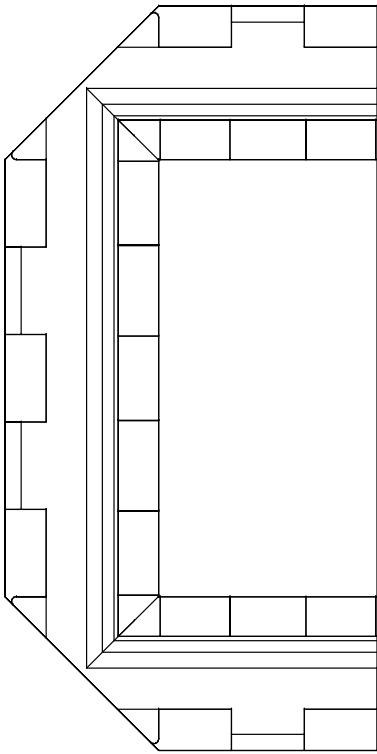


Figur 76: Kantavslutning 1, 2, 3, og 4.

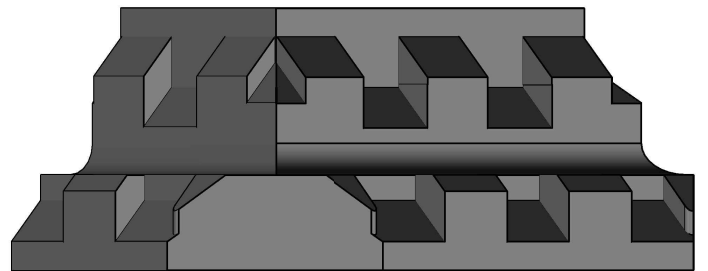
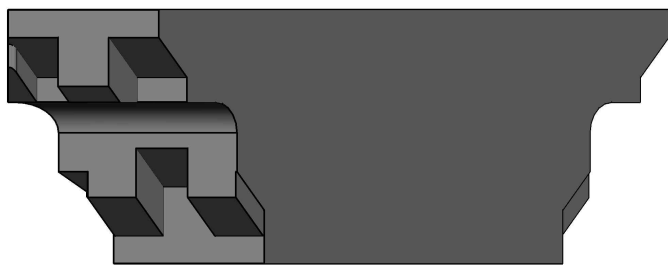
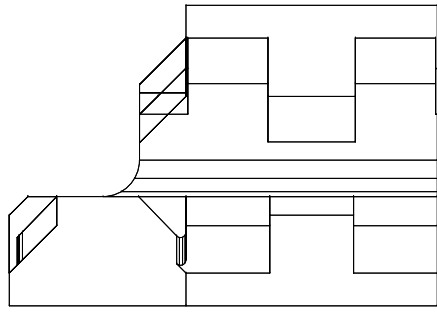
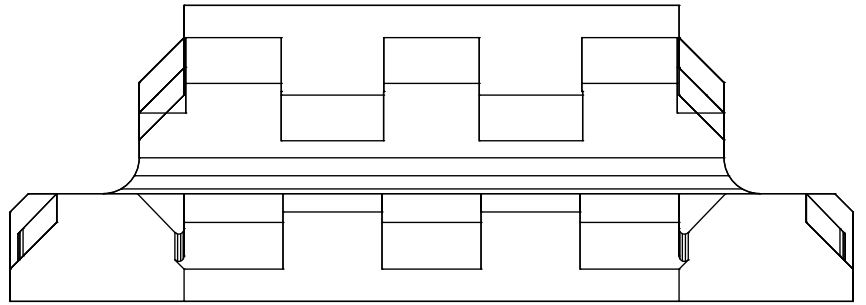


Figur 77: Kantavslutning 5, 6, 7, og 8.

Kantavslutning 1:

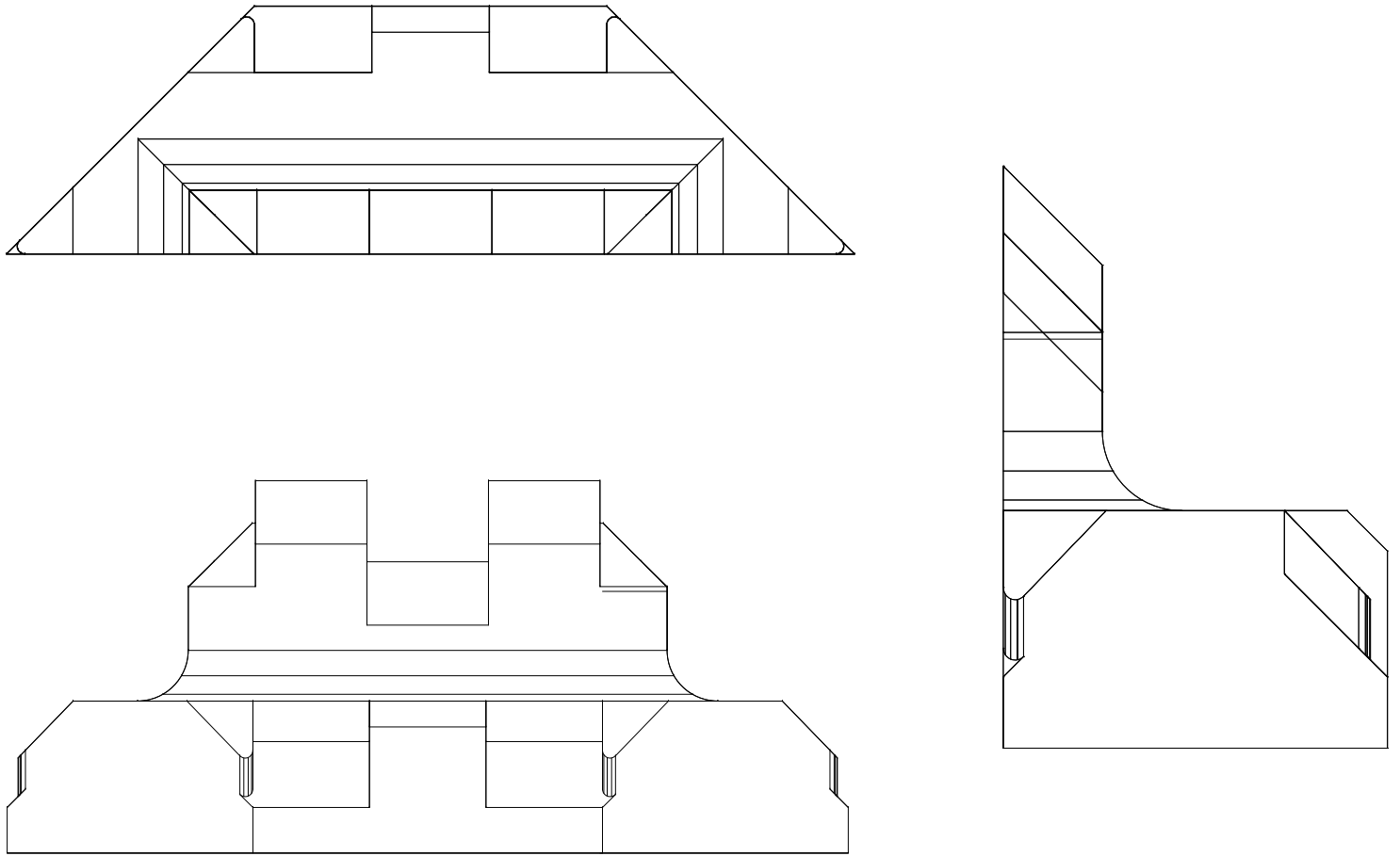


Figur 78: Kantavslutning 1

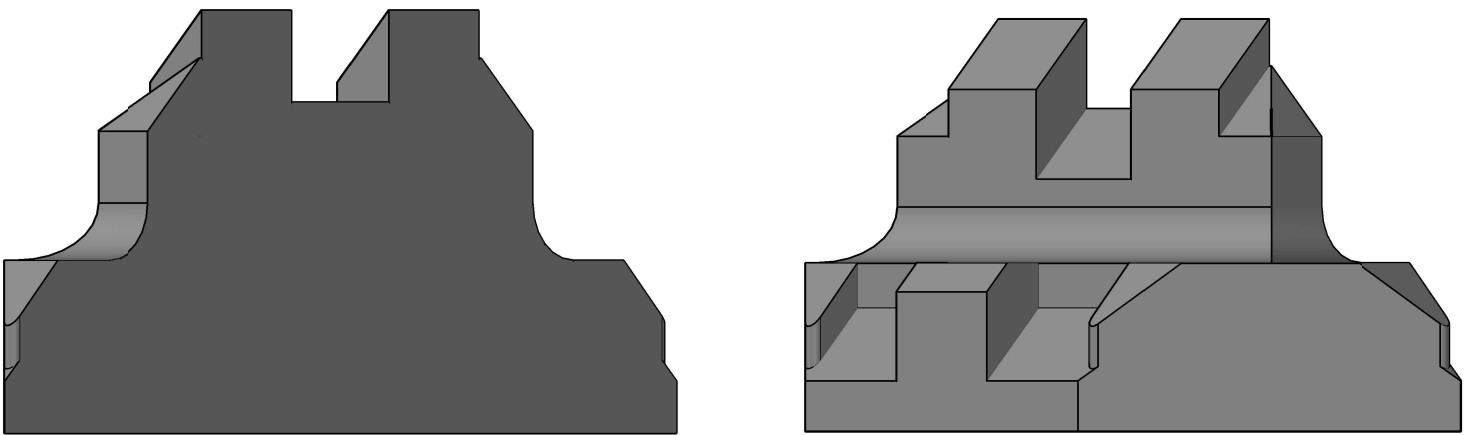


Figur 79: Kantavslutning 1, 3D-tegning.

Kantavslutning 2:

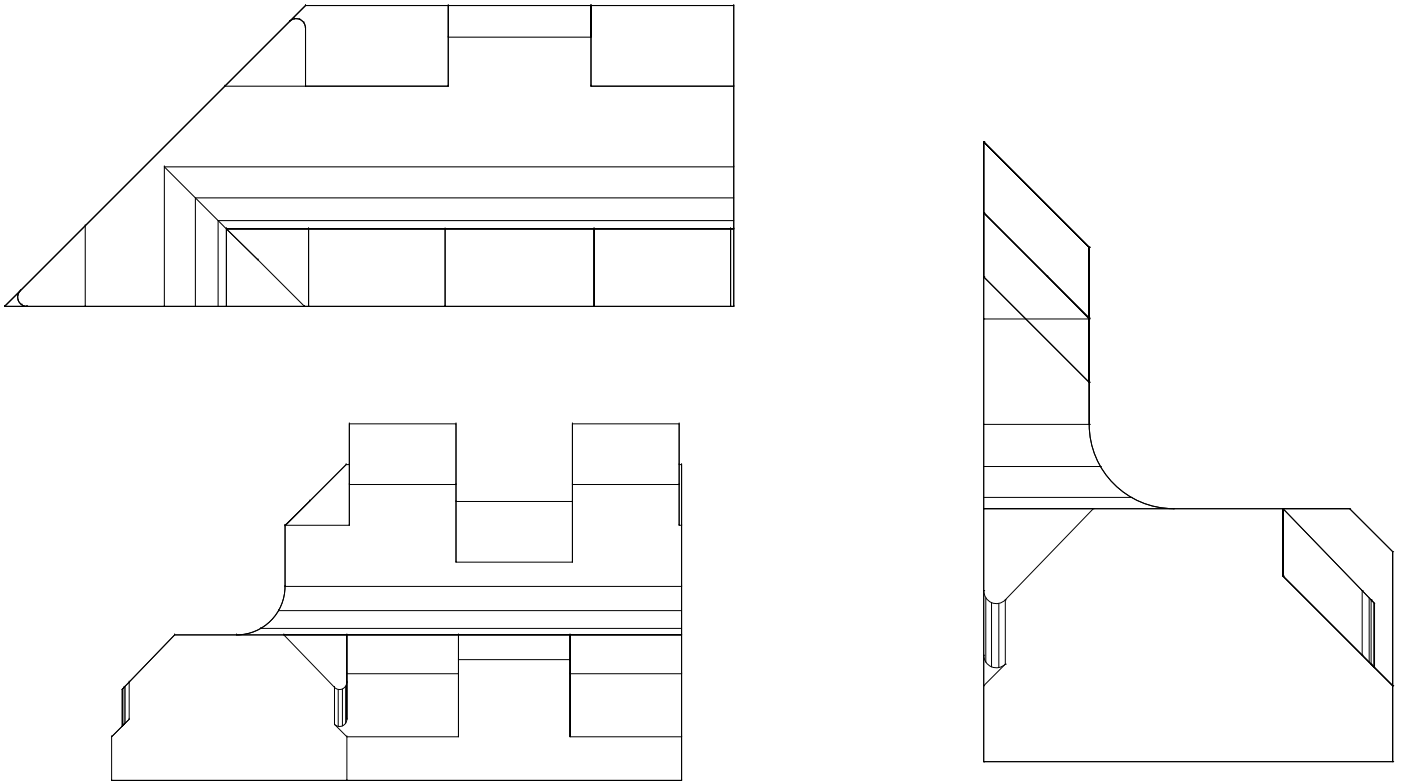


Figur 80: Kantavslutning 2.

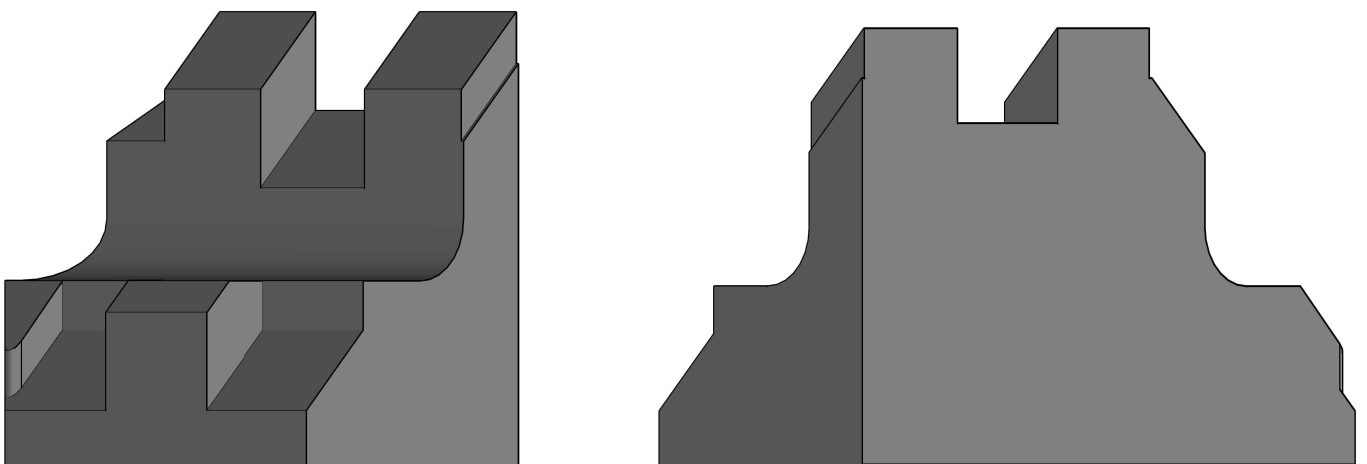


Figur 81: Kantavslutning 2, 3D-tegning.

Kantavslutning 3:

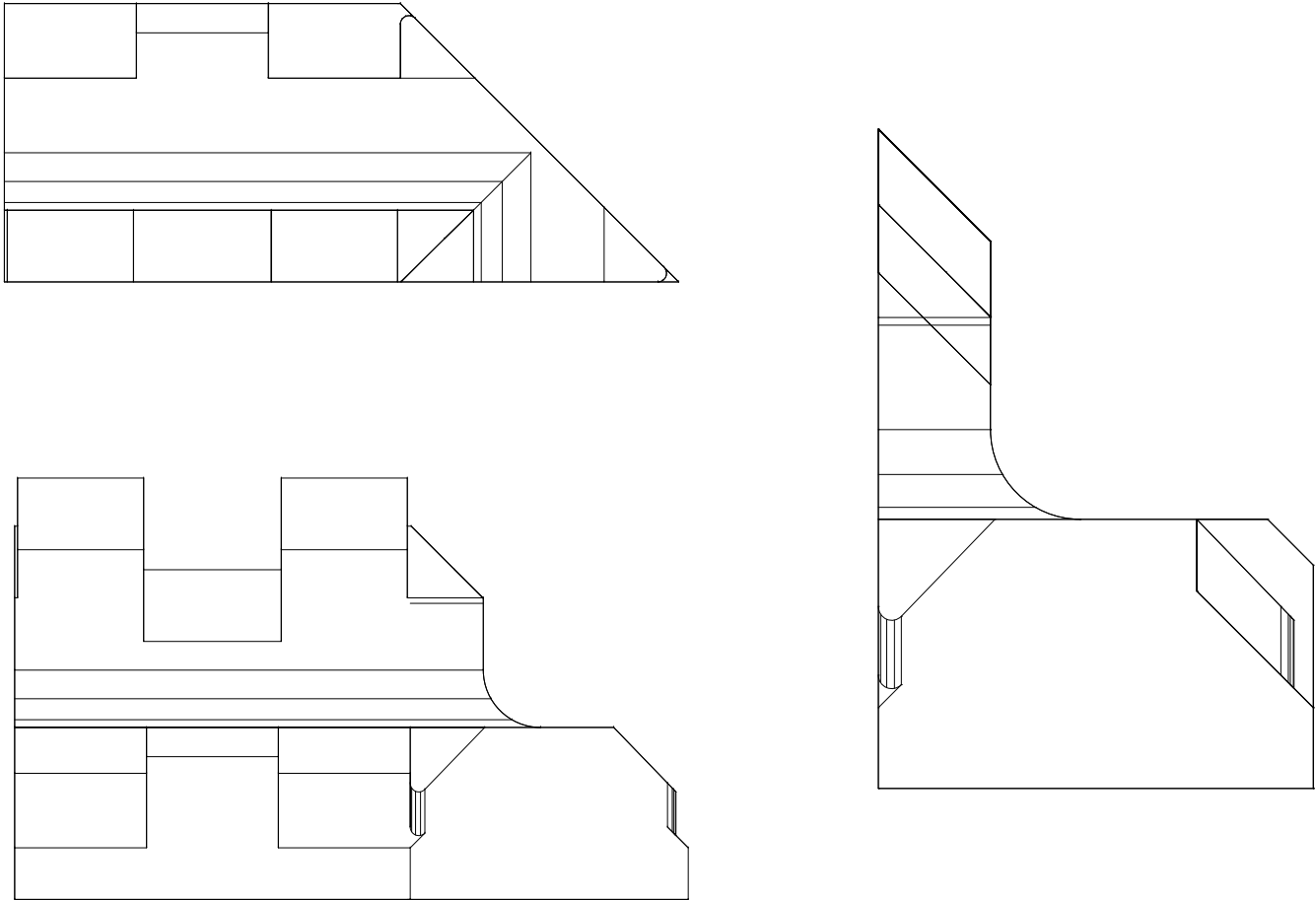


Figur 82: Kantavslutning 3.

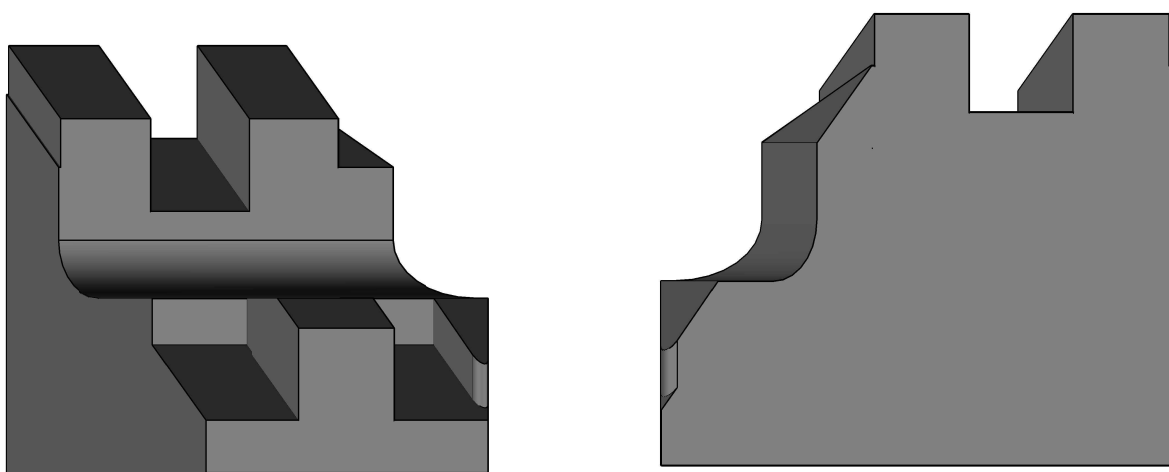


Figur 83: Kantavslutning 3, 3D-tegning.

Kantavslutning 4:

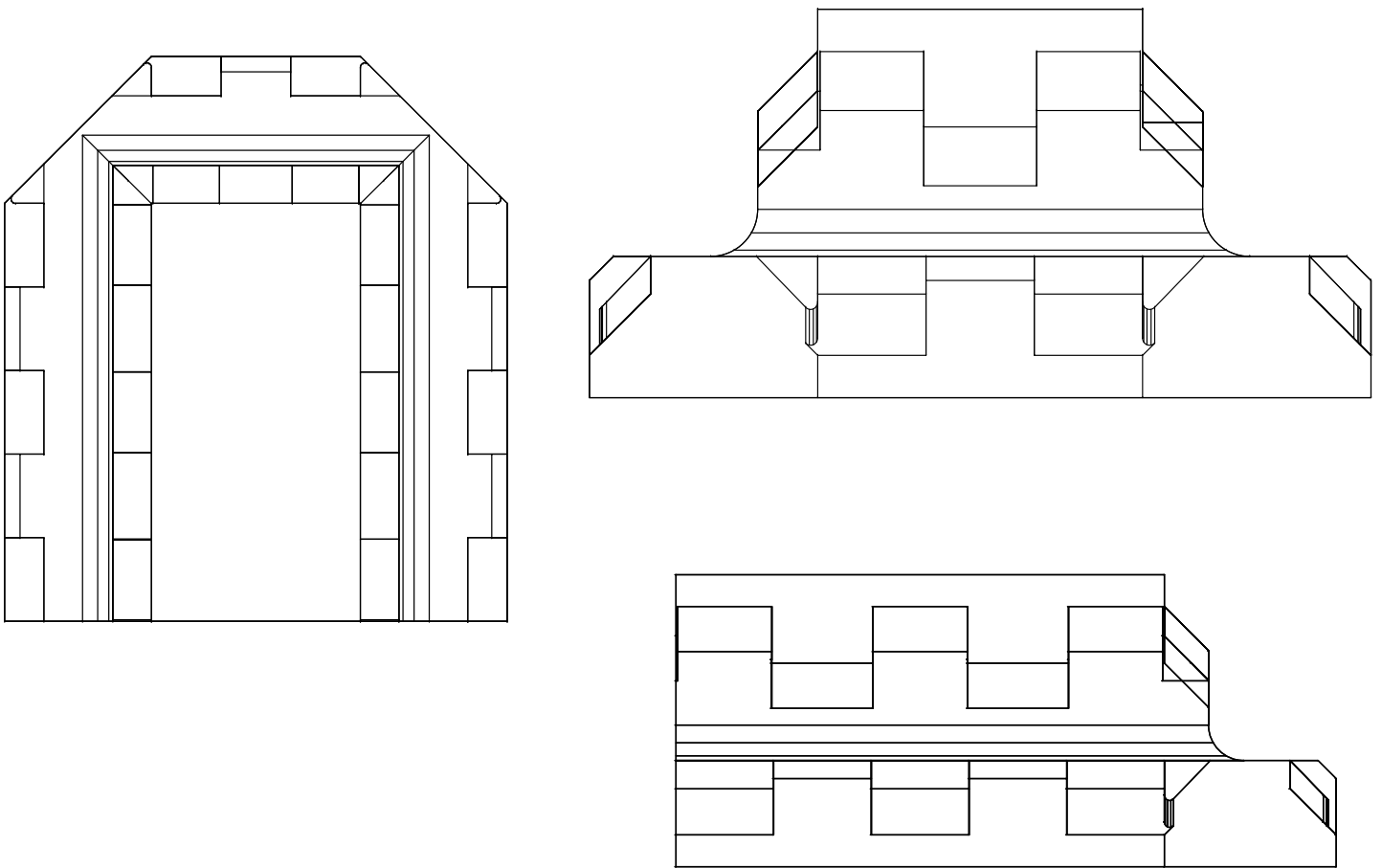


Figur 84: Kantavslutning 4.

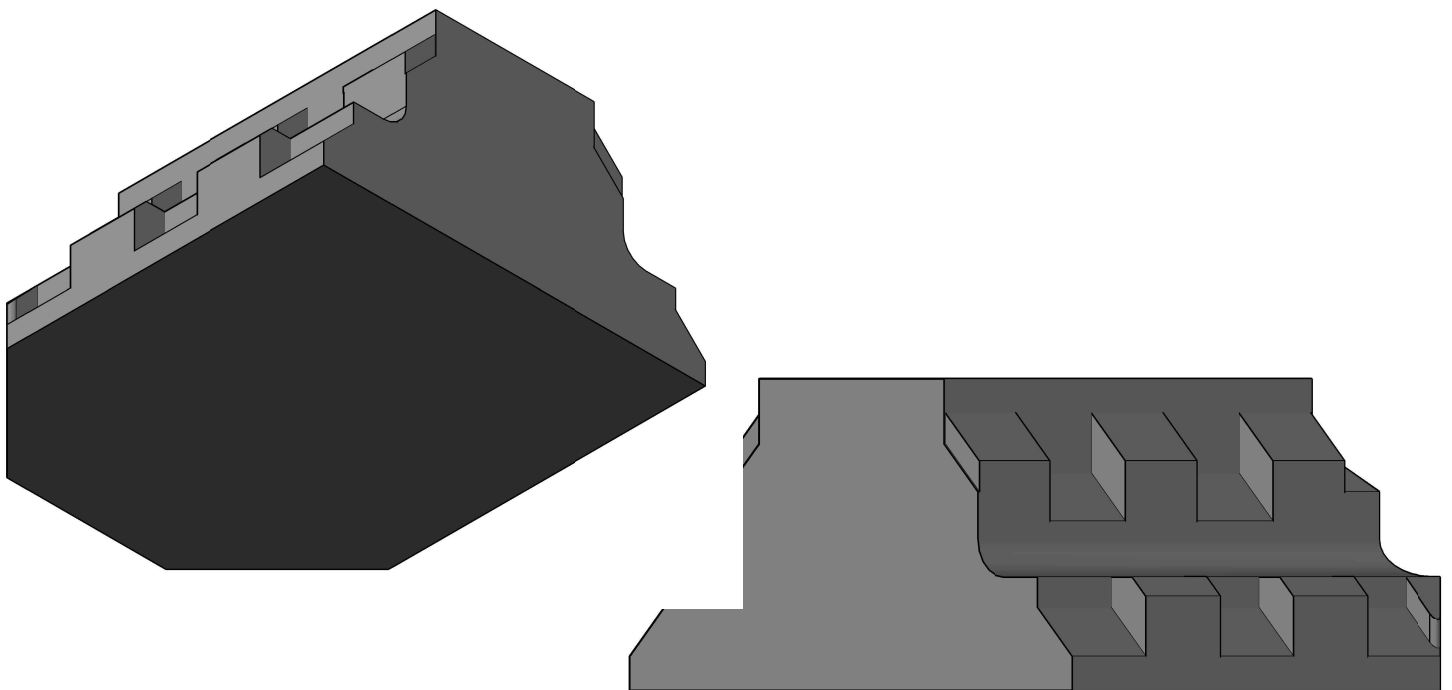


Figur 85: Kantavslutning 4, 3D-tegning.

Kantavslutning 5:

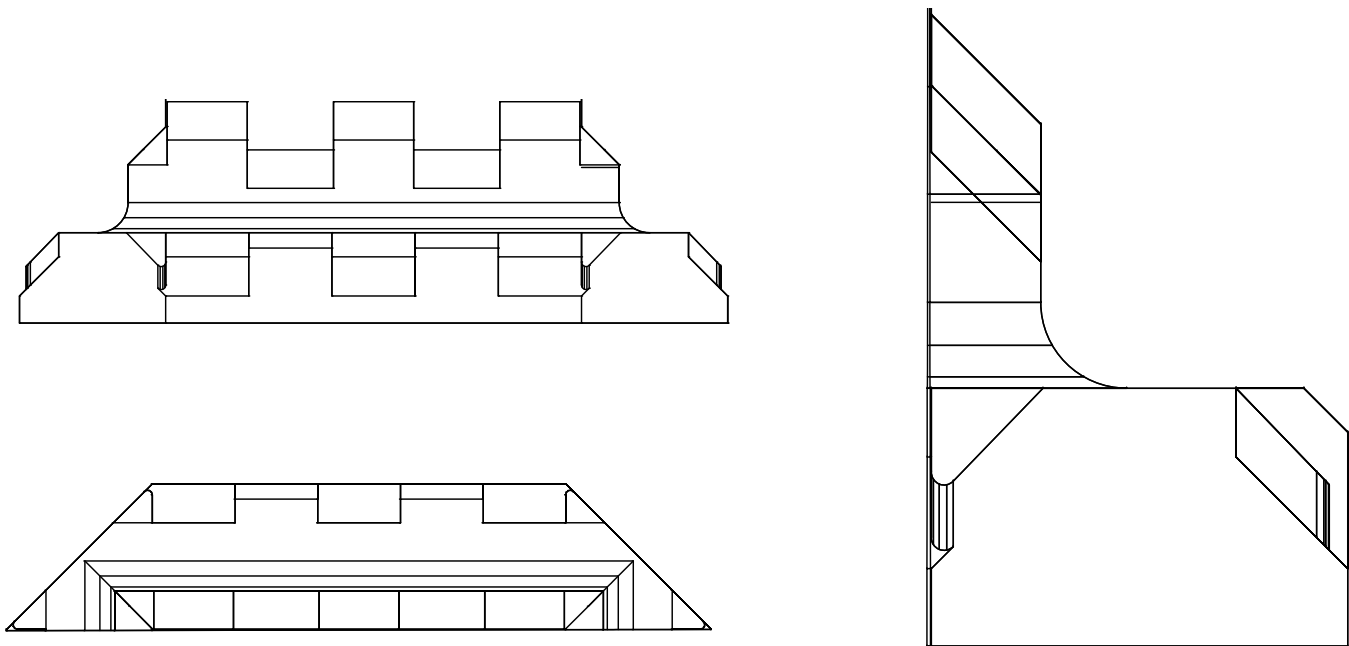


Figur 86: Kantavslutning 5.

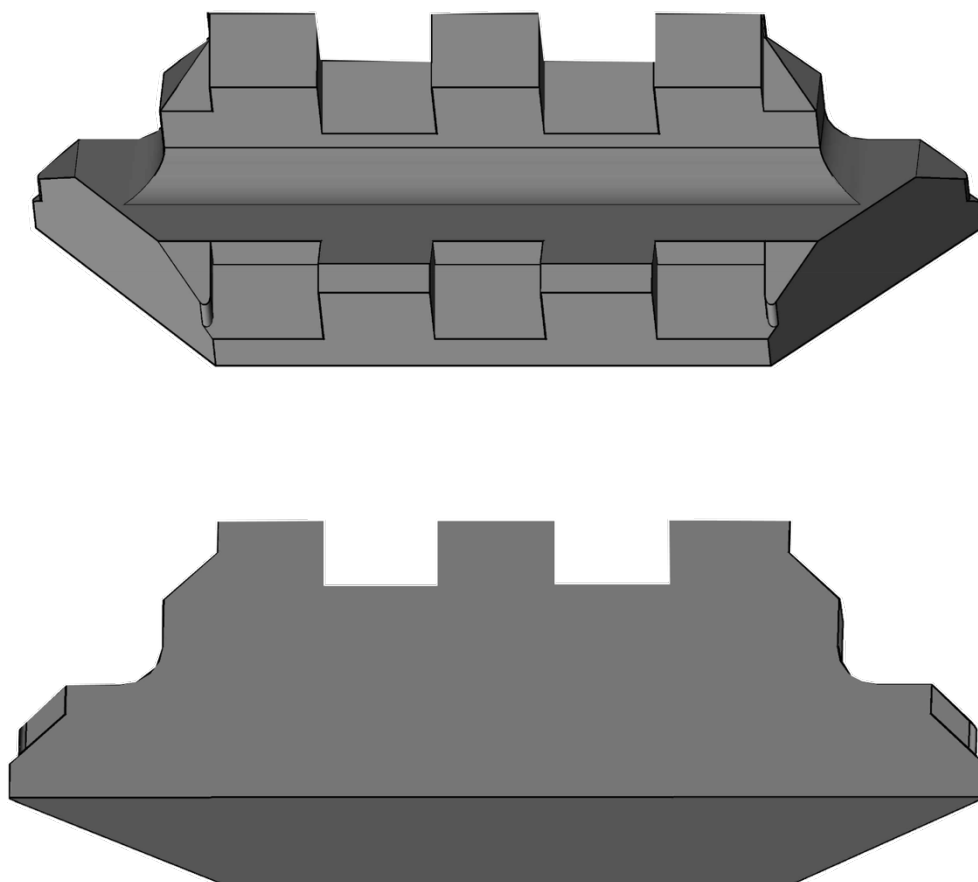


Figur 87: Kantavslutning 5, 3D-tegning.

Kantavslutning 6:

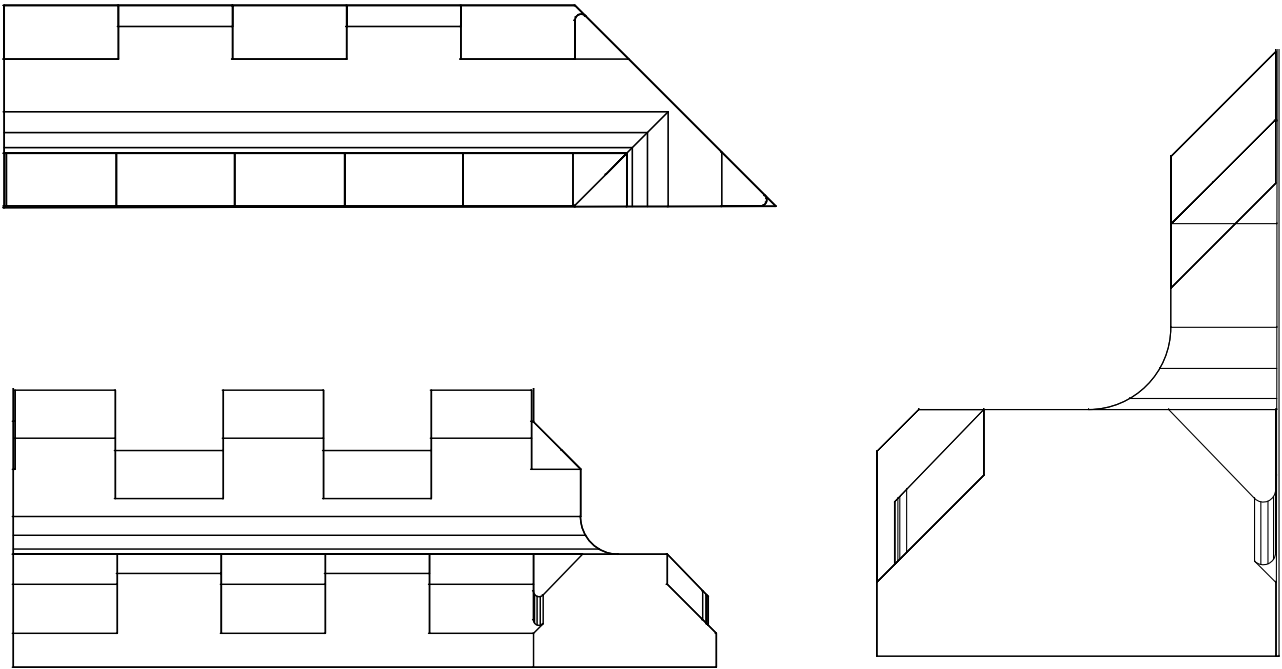


Figur 88: Kantavslutning 6

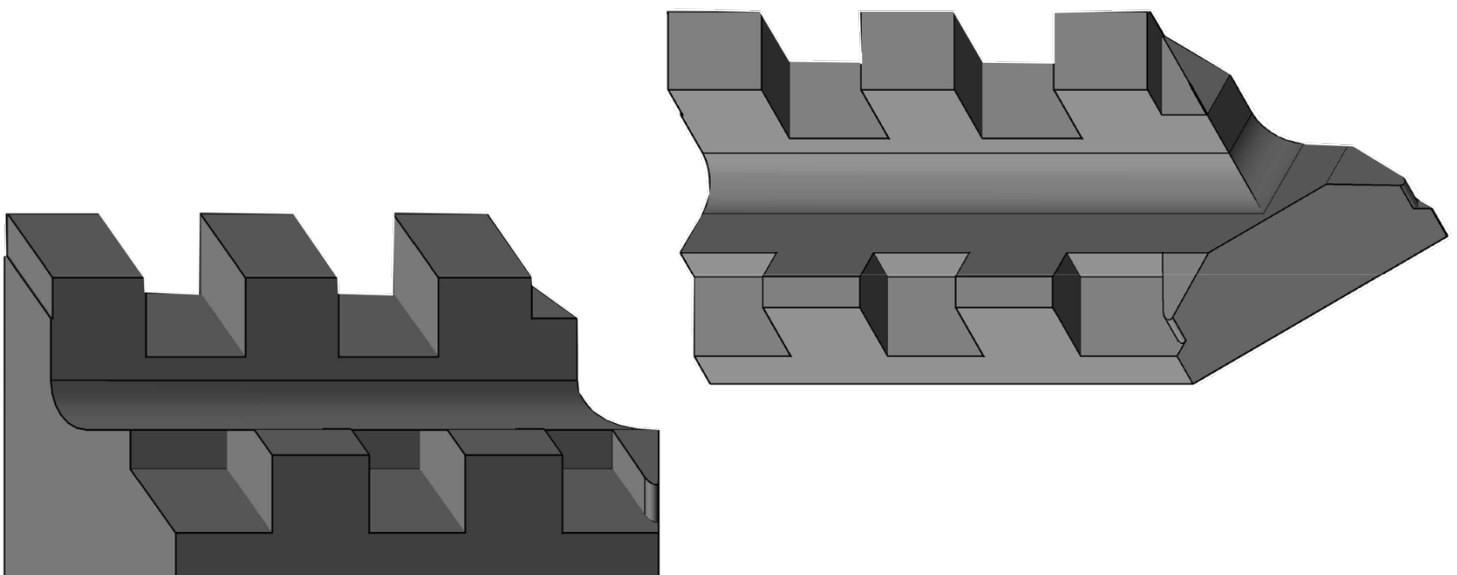


Figur 89: Kantavslutning 6, 3D-tegning.

Kantavslutning 7:

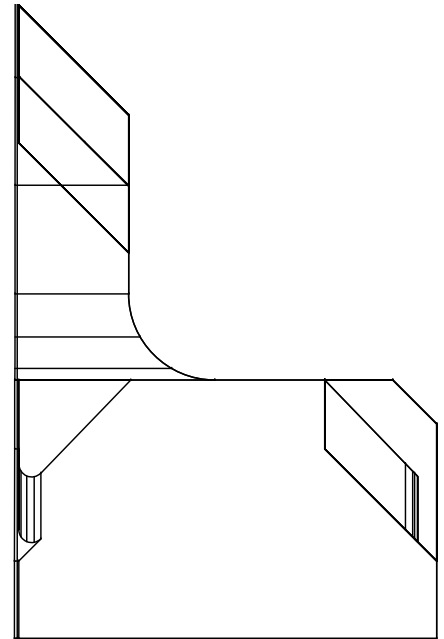
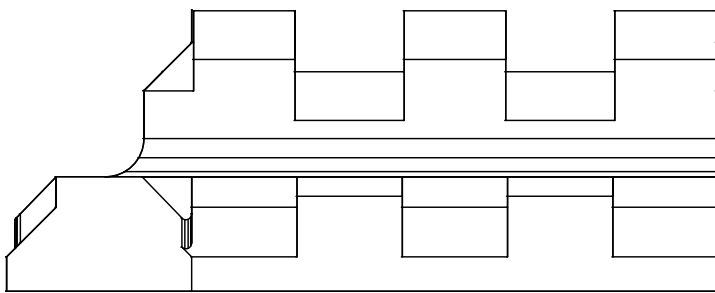
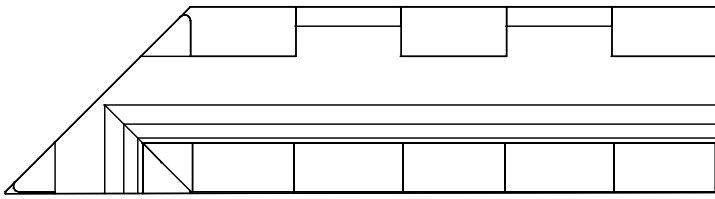


Figur 90: Kantavslutning 7

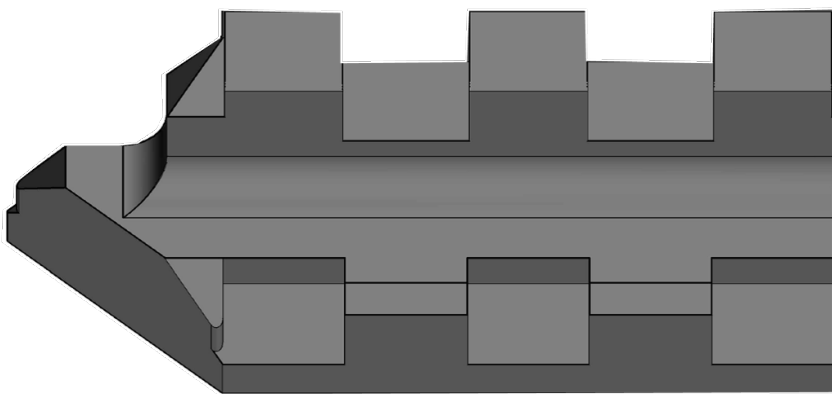


Figur 91: Kantavslutning 7, 3D-tegning.

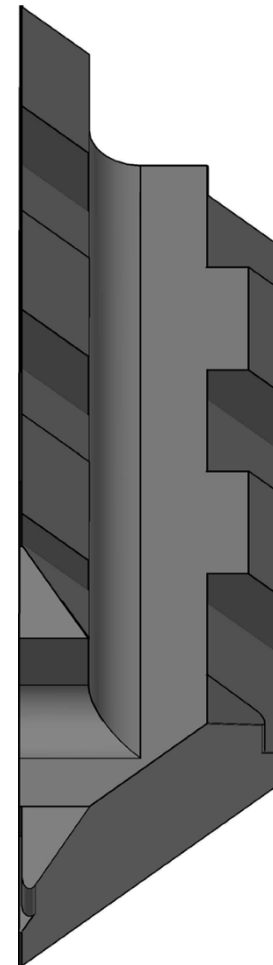
Kantavslutning 8:



Figur 92: Kantavslutning 8

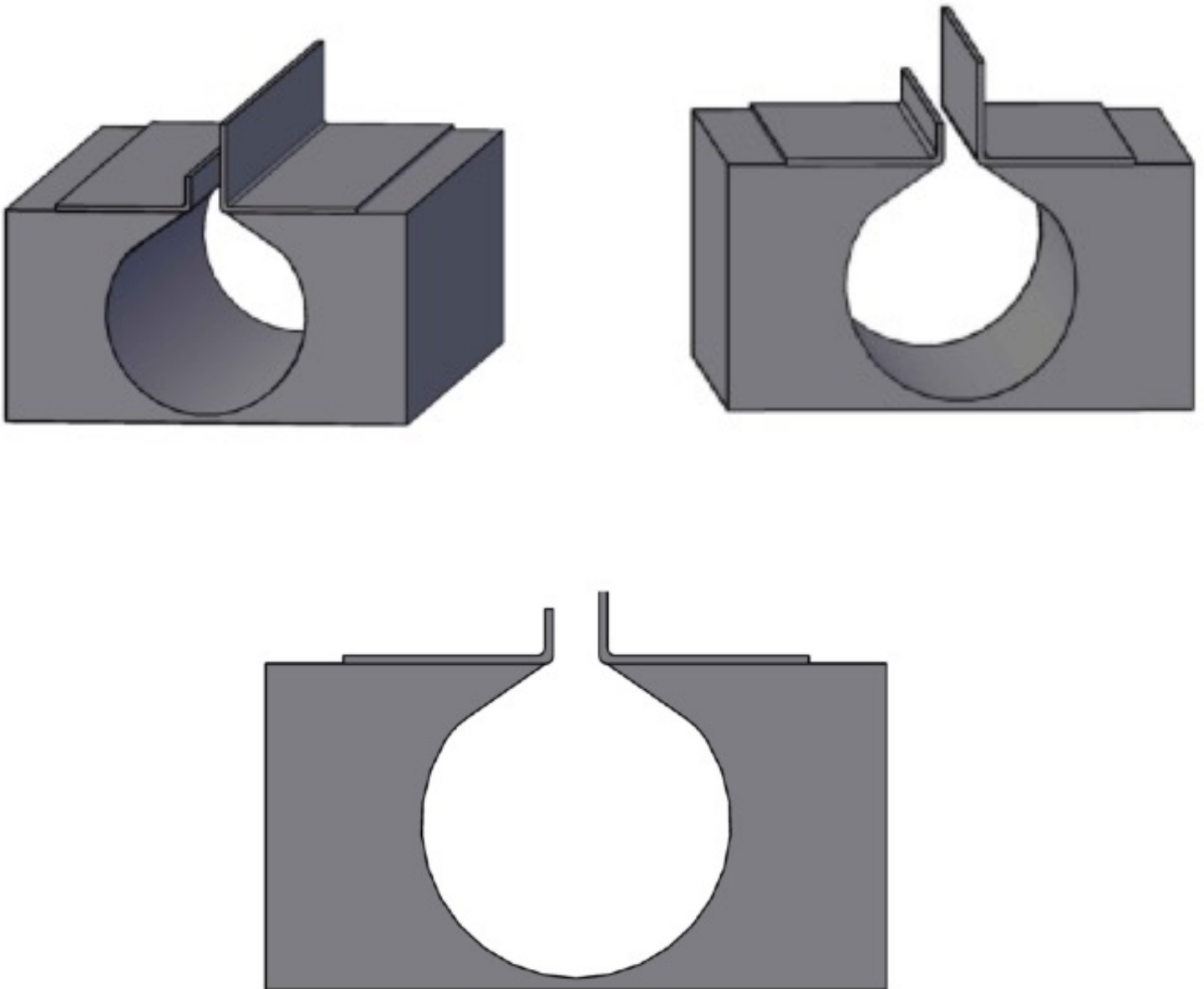


Figur 93: Kantavslutning 8, 3D-tegning.



Slisserenne:

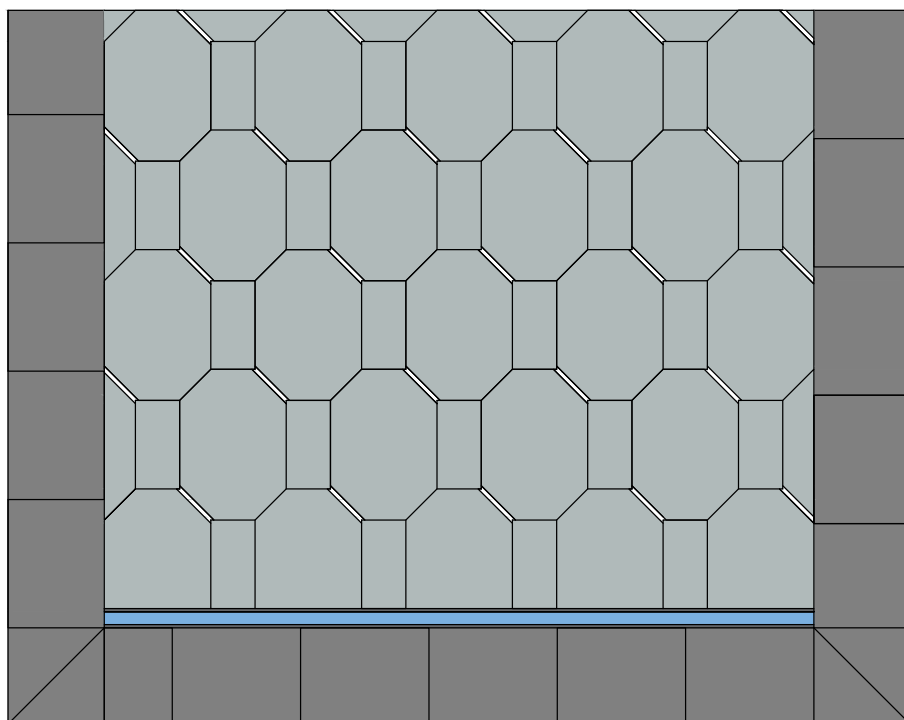
Det er også tegnet en løsning for en slisserenne som vil fange opp vann og frakte det videre til oppsamlingstank. Den er dimensjonert slik at vann fra hulrom og vann fra overflaten vil bli fanget opp. Rørdimensjonene for slisserennen dimensjoneres etter antatt nedbørsmengder for området den skal plasseres.



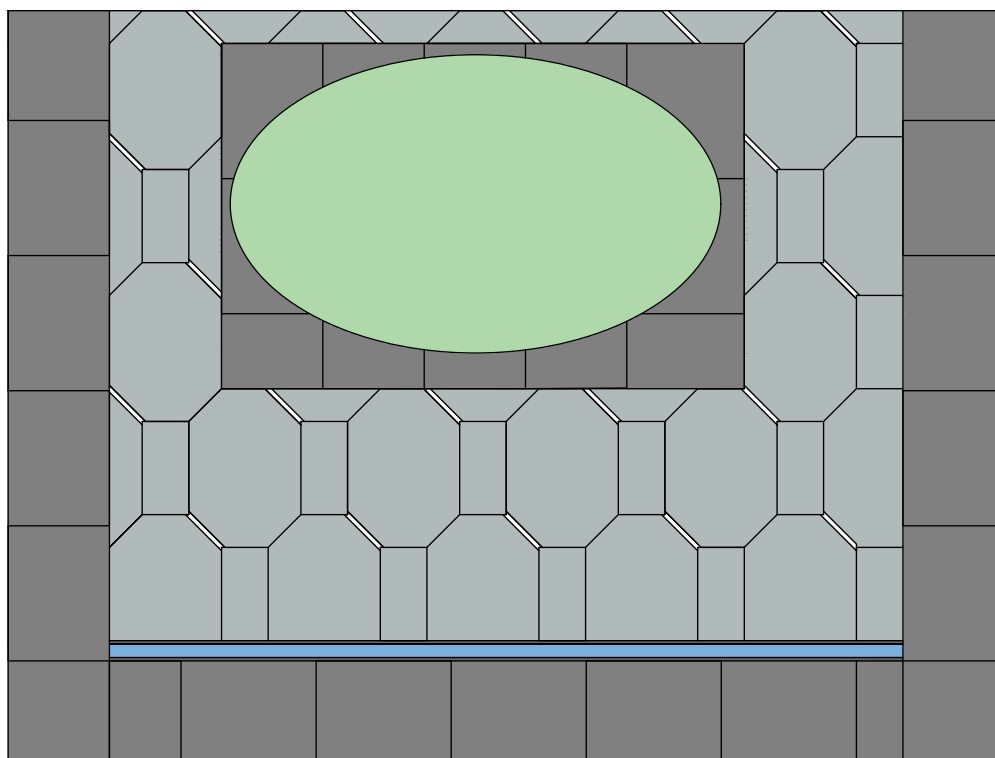
Figur 94: Eksempel på slisserenne, 3D-tegning.

Eksempler:

Figurene under viser ulike måter å kombinere kantavslutningene på. De viser hvordan dekket kan kombineres med slisserenne og tilstøtende dekker.



Figur 95: Eksempel dekke med kantavslutninger med slisserenne.



Figur 96: Eksempel dekke med kantavslutninger mot grøntområde.

5 3D-print

5.1 Brikke til justering

Som nevnt i delkapittel 4.6 ble det 3D-printet 24 brikker til justering av formene til S01 for å produsere belegningssteinene S02. Det ble først printet ut en brikke for å teste hvordan den passet inn i formen. Brikken passet, og de resterende brikkene ble printet ut.

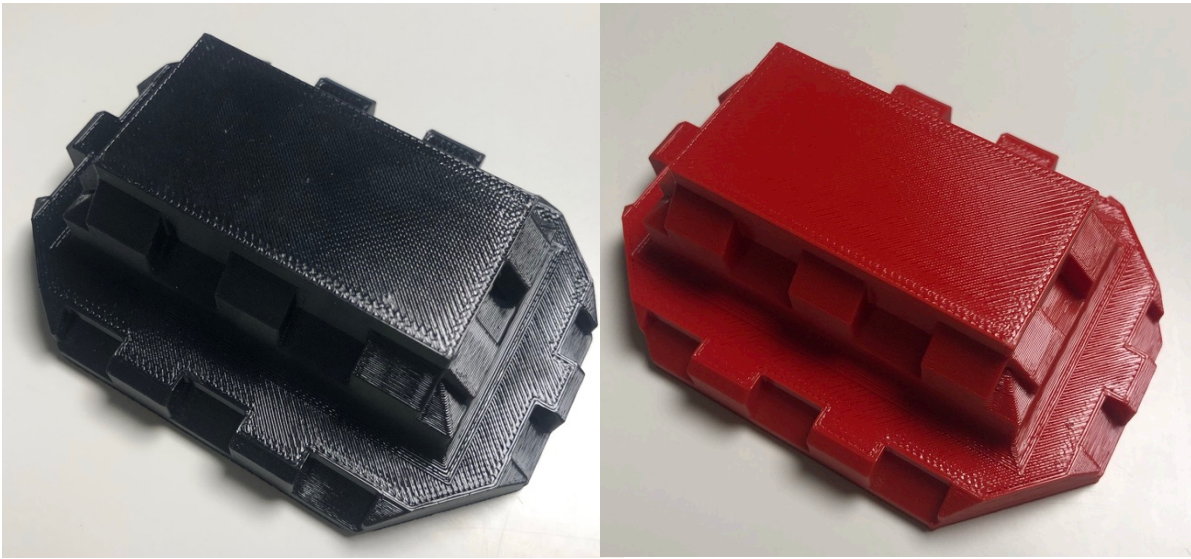


Figur 97: 3D-print brikke til justering.

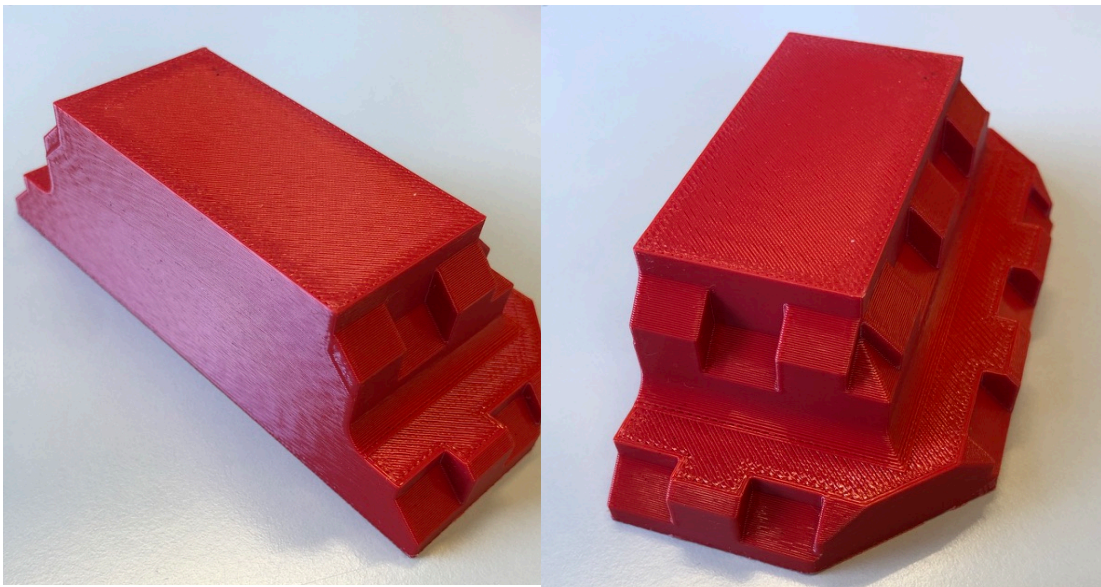
5.2 Kantavslutning 1, 2, 3, og 4

For å teste hvordan kantavslutningene som er tegnet i delkapittel 4.7 vil funksjonere sammen med S01 og S02, ble det besluttet å 3D-printe et dekke i mindre skala. Steinene er printet ut i halve størrelsen av opprinnelig størrelse. Dermed er høyden 41.25 mm, på den åttekantete flaten er lengden 117.5 mm og bredden på 83.0mm, på den rektangulære flaten er lengden 69.0mm og bredden 34.5 mm. I første omgang ble det printet ut 6 stykk av S01, 6 stykk av S02, 6 stykk kantavslutning 1, 1 stykk kantavslutning 2, 1 stykk kantavslutning 3, og 1 stykk kantavslutning 4. Kantavslutningene er skalert til å passe samme størrelsen som S01 og S02. Som nevnt tidligere er lagt inn en liten toleranse mellom kontaktpunktene slik at steinene plasseres riktig sammen i hverandre.

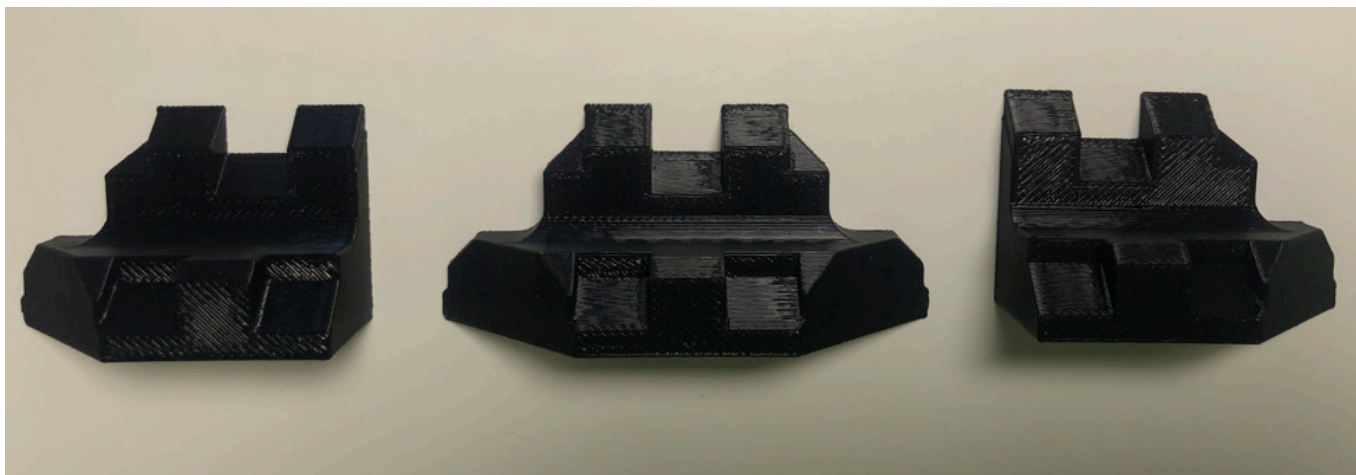
Kantavslutning 2, 3, og 4 er relativt tynne og har noen sårbare punkter, mens kantavslutning 1 er mer solid og har flere kontaktpunkter. 3D-printene vil opptre glattere og lettere enn en belegningsstein i betong, likevel vil kantavslutningene gi en indikasjon på hvordan de opptrer sammen med dekket. Figurene under viser steinene hver for seg, og som et sammensatt dekke.



Figur 98: 3D-print S01 og S02



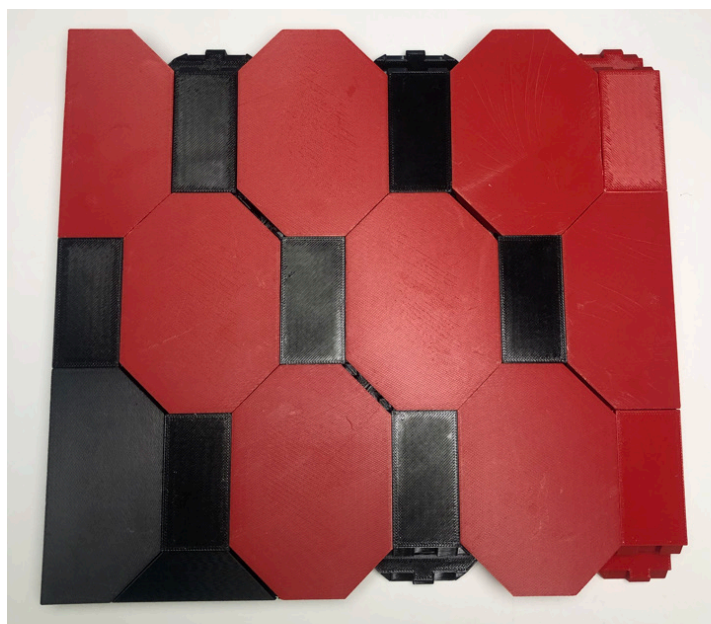
Figur 99: 3D-print kantavslutning I.



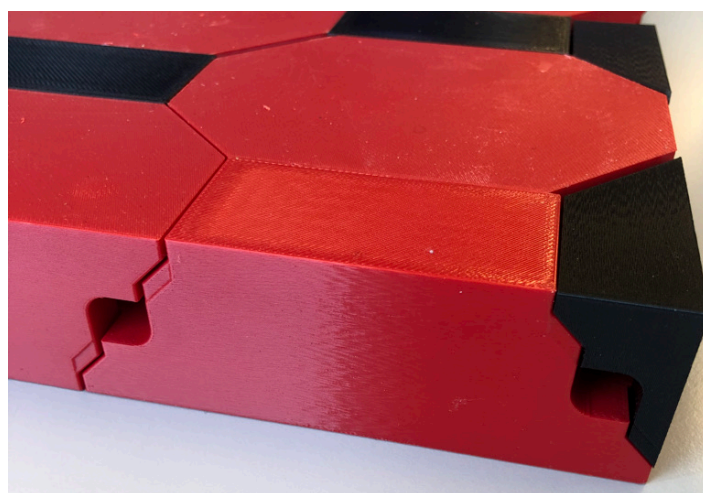
Figur 103: 3D-print kantavslutning 3, 2, og 4.



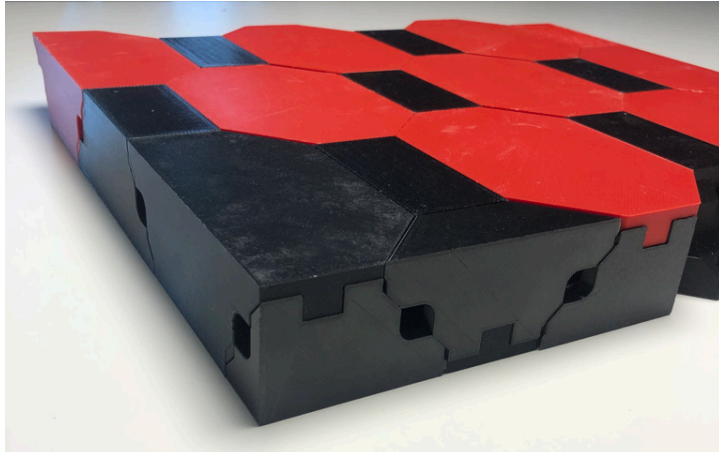
Figur 102: 3D-print kantavslutning 2, 4, og 3.



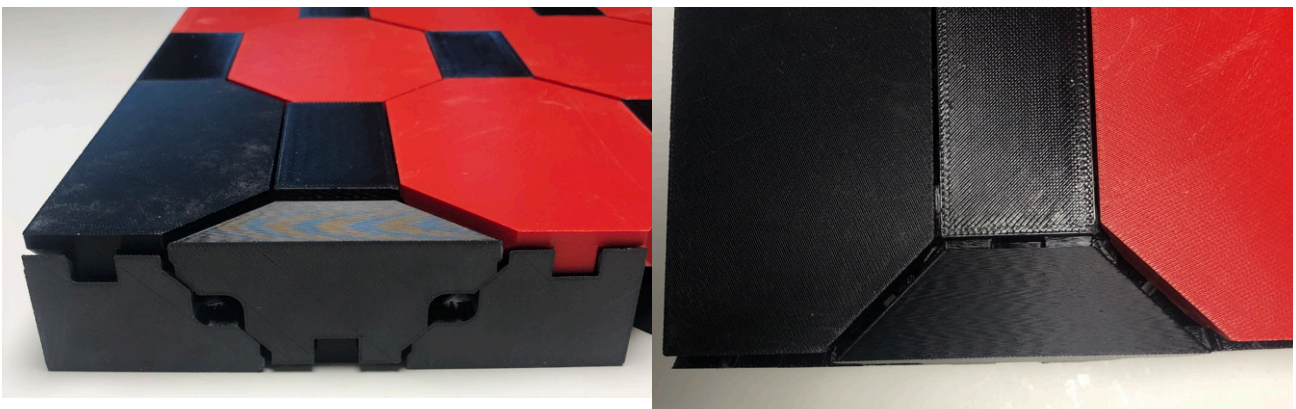
Figur 101: 3D-print dekke av S01, S02 og kantavslutning 1, 2, 3, og 4.



Figur 100: 3D-print kantavslutning 1 på dekke.



Figur 104: 3D-print kantavslutning 1, 2, 3, og 4 på dekke.



Figur 105: Forskyvninger på kantavslutning 2, 3, og 4.

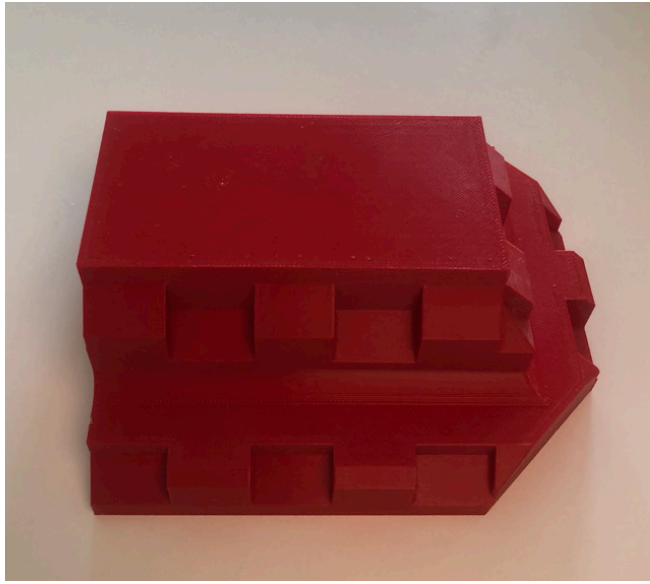
Det viser seg at alle kantavslutningene legger seg riktig sammen med S01 og S02 og gir fine og rette avslutninger. Figur 105 viser at kantavslutningene 2, 3, og 4 har falt litt fra dekket. Dette oppstår ved berøring av dekket eller om man trykker med fingeren på kantavslutning 2. Som tidligere nevnt er 3D-printen glattere enn en belegningsstein i betong, likevel kan det forventes at dette vil skje på et dekke i betongmateriale også ved påføring av laster. For å bruke kantavslutning 2, 3, og 4 vil det være nødvendig å legge dekket mot tilstøtende flater, eller en kantsikring som stabiliserer dekke. Kantsikringen vil være nødvendig for at det ikke skal oppstå forskyvninger på dekke ved belastning.

Kantavslutning 1 legger seg stødig sammen med resten av dekke. Grunnen er at denne kantavslutningen fester seg sammen med flere kontaktpunkter enn kantavslutningene 2, 3, og 4, dermed sklir den ikke fra dekke ved berøring eller ved å trykke ned med fingrene på den. Selv om kantavslutning 1 er en stødig kantavslutning, er det nødvendig å legge også denne mot tilstøtende flater eller en kantsikring for å hindre forskyvninger som kan oppstå ved belastninger.

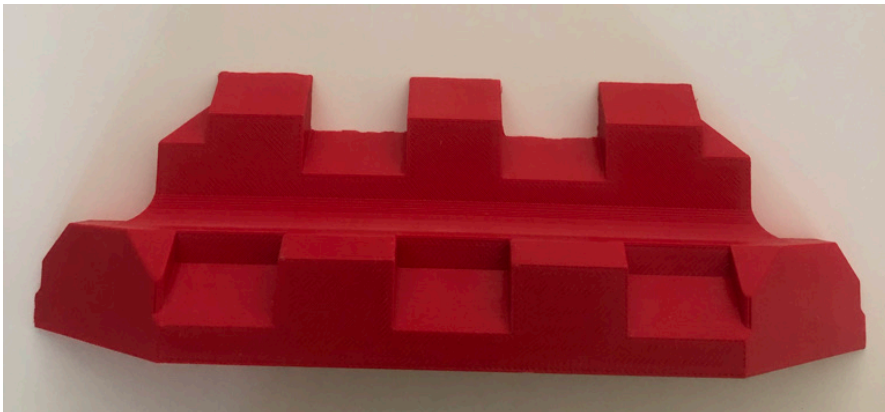
5.3 Kantavslutning 5, 6, 7, og 8

Til dekket som skal brukes til tester for overvannshåndtering senere i oppgaven ble det besluttet å teste ut kantavslutning 5, 6, 7, og 8. Disse ble valgt til å testes ut sammen med dekke da det viste seg at kantavslutning 2, 3, og 4 hadde noen svake punkter. Dermed ble det printet ut 9 stykk av kantavslutning 5, 6 stykk av kantavslutning 6, 1 stykk av kantavslutning 7 og 1 stykk av kantavslutning 8. De ble printet ut i opprinnelig størrelse til S01 og S02 der de viktigste målene er høyden på 82.5mm, på den åttekantede flaten er bredden 166mm og lengden 235mm, på den rektangulære flaten er bredden 69mm og lengden 138mm.

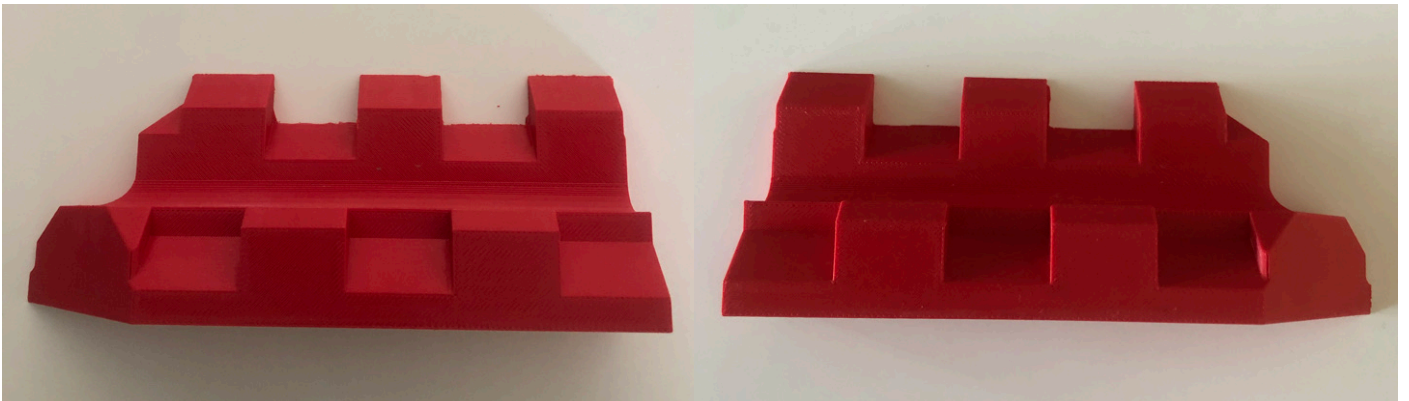
Blant disse kantavslutningene er også kantavslutning 6, 7, og 8 forholdsvis tynne og har sårbare punkter. Den største forskjellen fra kantavslutning 2, 3, og 4 er at kantavslutning 6, 7 og 8 har flere kontaktpunkter og forventes dermed å feste seg bedre og har bedre lastfordelingsevne. Kantavslutning 5 er stor og er den av kantavslutningene som har flest kontaktpunkter mot S01 og S02. Det forventes dermed at denne vil opptre stabilt sammen med dekke, uten å ha noen svakheter. På dette dekke vil også 3D-printen ligge mot betong som gjør at det blir mindre glatt enn når det ligger 3D-print mot 3D-print. Figurene under viser kantavslutningene hver for seg og sammen med dekke av S01 og S02.



Figur 106: 3D-print kantavslutning 5.



Figur 107: 3D-print kantavslutning 6.



Figur 108: 3D-print kantavslutning 8 og 7.



Figur 109: 3D-print Kantavslutning 5, 6, 7, og 8, sammen med S01 og S02 i betong.

Kantavslutningene plasserte seg fint sammen med dekke bestående av S01 og S02 i betong. Kantavslutning 6, 7 og 8 oppleves mer stabile enn kantavslutning 2, 3 og 4. Likevel er de mer utsatt enn kantavslutning 1 og 5 og kan falle fra ved belastning. Dermed må disse også støttes opp av en kantstein for tilstrekkelig kantsikring, eller et tilstøtende dekke slik at dekke opprettholder seg stabilt ved belastninger.

Kantavslutning 5 opptrer fint sammen med S01 og S02 og gir et funksjonelt resultat og et pent visuelt uttrykk. Det er den kantavslutningen som er koblet sammen med flest kontaktpunkter og oppleves dermed som den mest stabile av alle kantavslutningene. Det samme gjelder likevel for denne kantavslutningen som ved de andre kantavslutningene, at det kan oppstå forskyvninger på dekket over tid. Dermed må dekke låses sammen med en kantstein eller tilstøtende dekke for å oppnå tilstrekkelig kantsikring.

6 Støping av S02 i betong

For å få lagt et dekke som skal brukes til videre tester må det støpes ut nok steiner av typen S02. Fra Torgrimsens oppgave våren 2020 ble det støpt flere steiner av typen S01, som er brukt i videre tester sammen med S02. Det ble til sammen støpt ut 24 steiner av S02, fordelt på to omganger. I første omgang med støping fikk jeg rester av betong fra en annen gruppe. Den andre omgangen med støping ble det laget en egen blanding til mitt formål.

6.1 Utstysrliste

- Personlig verneutstyr
- Betongblandemaskin
- Bøtter til å oppbevare og frakte betongen
- Liten spade
- Murskje
- Sponplater, 2 stk
- Pall
- Stålstang til fordeling og komprimering av betong
- Former, 2 stykk, en form gir 6 steiner
- 24 brikker til justering
- Teip
- Forskalingsolje
- Gummihammer

6.2 Resepter

I første omgang med støping fikk jeg rester fra et større betongprosjekt til en annen gruppe.

Det viste seg at denne betongen var tørr, og dermed veldig vanskelig å jobbe med.

Utformingen på formene til steinene gjør det utfordrerne å fordele og komprimere betongen godt nok. Dermed var det noen av steinene som ikke ble like fine i kantene. For den andre omgangen med støping ble det besluttet å lage en egen resept til 12 nye steiner, slik at betongen var lettere å jobbe med til formålet. Det er ikke lagt særlig vekt på betongens egenskaper som et sluttprodukt, men et fokus på å få så nøyaktige steiner som mulig.

Resept 1:

Tabell 2: Resept betongblanding nummer 1.

Material	Type	Masse (kg)	Andel i %
Sement	Norcem Anlegg	29.534	15.425
Flyveaske	Normineral	7.383	3.856
Vann	Fritt	11.462	5.986
Vann	Absorbert	1.039	0.542
Sand	0/8 mm	71.982	37.596
Grovt tilslag	Årdal 8/16 mm nat. vask	69.872	36.494
Superplastiserende tilsetningsstoff	Mapei Dynamon SX-N	0.185	0.096
Total		191.457	100

Resept 2:

Tabell 3: Resept betongblanding nummer 2.

Material	Type	Masse (kg)	Andel i %
Vann		3.75	7.99
Sement	Cemex Miljøsement	7.5	15.99
Grovt tilslag	Årdal 8/16 mm nat. vask	17.82	38.0
Fint tilslag	Årdal 0/8 mm nat. vask	17.82	38.0
Superplastiserende tilsetningsstoff	Mapei Dynamon SX-N	0.003	0.0064
Total		46.893	100

6.3 Fremgangsmåte

1. Brikkene som er 3D-printet ble festet til formene ved hjelp av teip. De ble festet i to hjørner diagonalt fra hverandre. Videre ble formen smurt inn med forskalingsolje, slik at steinene enklere kommer ut av formen når de er herdet.



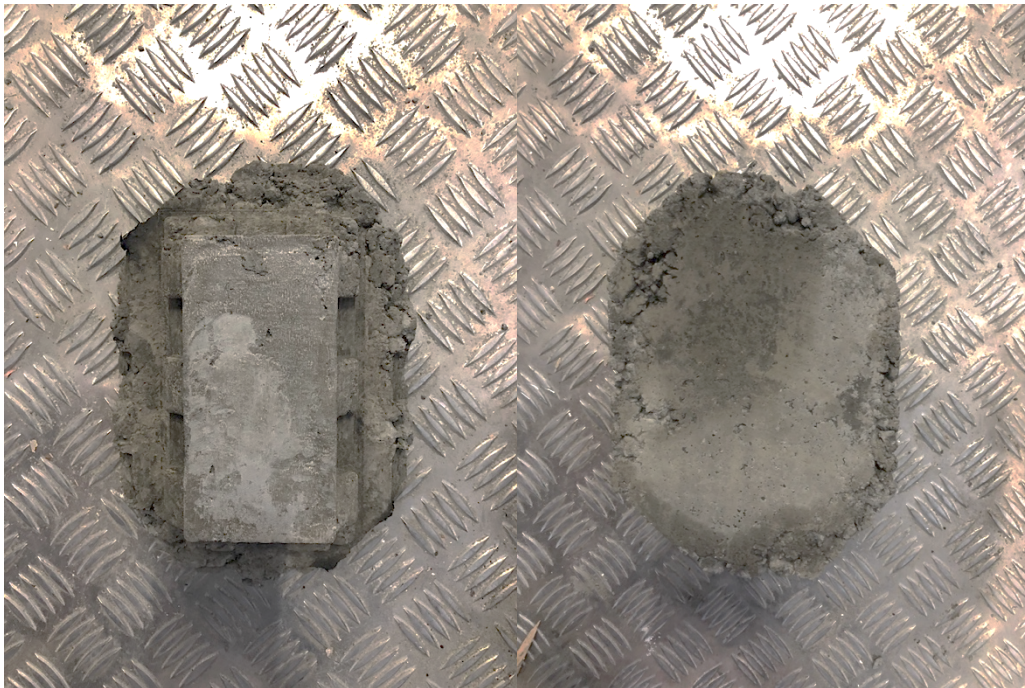
Figur 110: Former klargjort til støping.

2. Betongmassen ble bladet sammen i betongblandemaskinen etter resepten. Den første resepten ble laget av gruppen som i hovedsak skulle bruke den, mens resept nummer to ble laget ved hjelp av Jarle Berge. Den ferdige betongmassen ble flyttet over i en bøtte, og var klar til bruk.
3. Formene ble plassert på sponplater. Deretter fylles formene opp med betong ved hjelp av en mindre spader og en murskje. Formen fylles opp litt, før stålstangen brukes til å komprimere og fordele betongmassen helt ut i kantene på formene. Denne prosessen gjentas til formene er fylt til toppen. Resten av formene fylles opp på samme måte.
4. Det var bare to sponplater med riktig størrelse tilgjengelig når jeg støpet steinene. Derfor ble overflaten av formene herdet mot luft. Dette førte til at flaten på steinene som var herdet mot luft ble mer ujevne enn flatene som ble herdet mot sponplaten.
5. Fra steinene ble støpt, til de ble tatt ut av formene gikk det cirka ett døgn.
6. For å få steinene ut av formene ble det brukt en gummihammer til å dunke på formene, for å få steinene til å løsne. Noen av steinene gikk enkelt ut, mens andre satt veldig godt og krevde mer tid.
7. Nå er belegningssteinene klar til videre tester.

6.4 Konklusjon

Steinene som hadde den største flaten vendt oppover var de som i hovedsak ble best. Dette på grunn av at formene er enklere å fylle opp jevnt, og det er et større område for stålstangen å stampe med. Formene som hadde det minste arealet vendt oppover, er vanskeligere å fylle opp, samt vanskeligere å vite om betongmassen er fordelt godt nok ut i kantene. Det var varierende kvalitet på steinene etter avstøpning. Som nevnt var resept 1, en tørr betongmasse som var vanskelig å jobbe med, dette ga utslag på noen av steinene. Mens de fra resept 2 ble bedre. Deretter ble de steinene som var best egnet valgt ut, og ble brukt i videre tester.

Til tross for at steinene er noe ujevne, er det ikke problemer med å få de til å passe sammen i et sammenhengende dekke, se figur 113.



Figur 111: En av de dårligere steinene som ble støpt, fra resept 1.



Figur 112: Stein støpt ut fra resept 2.



Figur 113: Dekke bestående av kun S02 fra både resept 1 og 2.

7 Teste dekket for overvannshåndtering

Dekke bestående av S01 som understein, og S02 som overstein er testet med tanke på overvannshåndtering. Hvor det ble målt hvor mye vann som infiltrerer i underlaget, hvor mye vann som benytter hulrommene, og de resterende vannmengdene ble samlet i en oppsamlingstank. Hensikten for målingene er å finne ut om hulrommet er egnet til å fordrøye og avlede vann, særlig ved store nedbørmengder. Dette for å unngå at store vannmengder renner på overflaten av et dekke, og for å unngå at tette sluker overfylles slik at det samles store vannmengder på et sted, se figur 114.



Figur 114: Større vannmengder samlet over et dekke.

Hentet fra [14].

7.1 Klargjøring til forsøkene

Alle forsøkene er utført på et dekke bestående av 18 understeiner S01, og 18 oversteiner S02.

I tillegg ble det brukt 9 stykk kantavslutning 5, 6 stykk kantavslutning 6, 1 stykk kantavslutning 7 og 1 stykk kantavslutning 8. Dekke målte dermed 1106mm i bredden og 932.5mm i lengden.

7.1.1 Utstysrliste

Utstysrliste for forsøk:

- Belegningssteiner av type S01 og S02, samt kantavslutningene i 3D-print
- Grovt tilslag 8/16 mm, se eget vedlegg.
- Fint tilslag 0/8 mm, se eget vedlegg.
- Betongkloss til bruk for komprimering
- Spade
- Bøtte
- Vannslange
- Tank for oppsamling av vann
- En liten kontainer til å ha dekket på, for å komme opp i høyden til å samle vann.
- Kopper
- Gummislange
- Teip
- Litermål
- Tommestokk

7.1.2 Utførelse

Først ble kontaineren lagt over to store betongklosser slik at den sto litt i høyden. Dette var slik at det kunne plasseres en tank under for å fange opp overflødig vann ved testing. Kontaineren ble så fylt med grovt tilslag 8/16mm, det ble lagt med en tykkelse på 4.5 cm. Over det grove tilslaget ble det lagt et fint tilslag 0/8mm, med en tykkelse på cirka 2.5 cm. Massene ble plassert slik at det dannes en helning. Det er ønskelig at helningen er lik eller over 2% for å sikre et resulterende fall, men ikke overstiger 4%. Disse verdiene gjelder for oppstillingsplass [16, side 91]. Helningen regnes ut når dekket er lagt. Dette ble videre komprimert ved hjelp av en tung betong klosse. Dekket ble deretter vannet lett, og komprimert på ny. Dette for å oppnå et fast dekke, uten for store avrenninger i underlaget.



Figur 115: Grov tilslag under, og fint tilslag over.

Da dekke var ferdig preparert ble belegningssteinene fordelt utover grunnlaget. Dekke ble lagt så tett og nøyaktig som mulig, men på grunn av noe ujevne steiner oppstår det noen steder større gliper enn andre steder. Dette kan være med på å påvirke det endelige resultatet. Ved profesjonell støping vil dette unngås i større grad. For å legge dekket så jevnt som mulig legges S01 først, og deretter plasseres S02. S02 skal passe rett inn i S01 som allerede er lagt.



Figur 116: Forskjell på hvor tett steinen ligger.



Figur 117: Først legges S01, deretter S02.

Når dekket er lagt vil det også her være noe ujevnheter for størrelsen på glipene som er mellom steinene. Glipene som er laget for å la vannet renne gjennom har fungert bra ved støping av belegningssteinene og dekke oppleves fortsatt estetisk fint. Denne glipen er ment å være 10mm, men kan variere noe fordi støpingen er gjort for hånd.



Figur 118: Forskjeller på hvor tett steinene ligger.

Når dekke er ferdig lagt, legges også kantavslutningene på. Selv om de er 3D-printet passer de rett inn på dekket og gir en fin og rett avslutning.



Figur 119: Kantavslutningene sammen med S01 og S02 i betong.

For å fange opp vannet som renner i hulrommene til dekke festes det plastrør i åpningen av hulrommet ved hjelp av teip. Ut fra rørene settes det opp kopper som fanger det eventuelle vannet som renner gjennom hulrommene. Under plasseres en tank som fanger opp vannet som renner på overflaten, samt vannet som renner fra sandmassen når grunnforholdene er mettet.



Figur 120: Plastrør festet til hulrommene, og oppsamlingskopper plassert.

7.1.3 Utregning helning

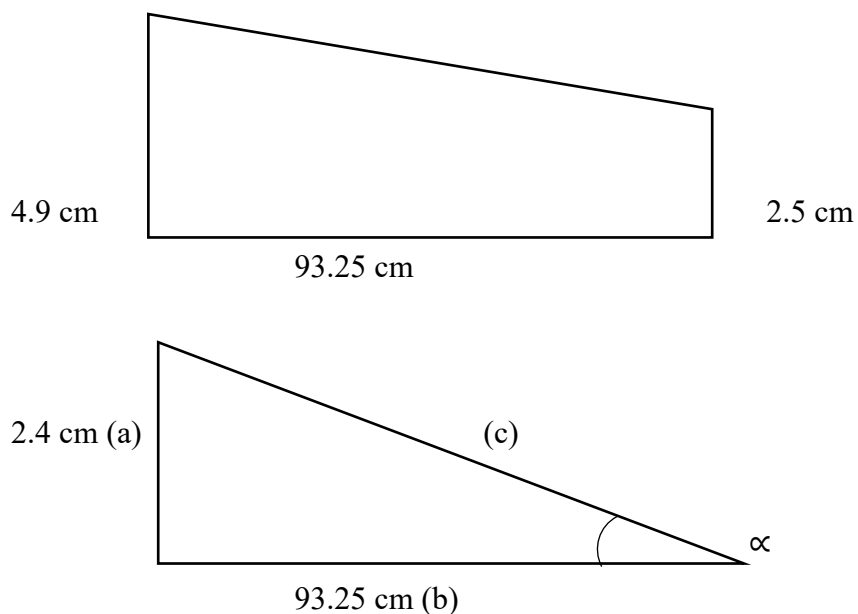
Nå som dekket er klart til å gjennomføre testene, regnes først den nøyaktige helningen ut. For å sjekke om den er innenfor 2-4% eller om den må justeres før gjennomføring av testene. Grunnen til at helningen måles etter steinene er plassert er for å få nøyaktige målinger for område hvor belegningssteinene ligger, da selve området er større enn dekke.



Figur 121: Målinger ved øvre og nedre del av dekke.

Den øvre delen av dekke, der dekke starter måles underlaget til å være 4.9cm, se figur 121.

Ved nedre dele av dekke, der dekket slutter måles underlaget til å være 2.5cm, se figur 121.



For å regne nøyaktig helning brukes tangens. Ut fra de målene jeg har, gjør jeg om til en trekant hvor høyden er differansen mellom de ulike høydene fra figur 121.

Formelen for tangens er:

$$\tan(\alpha) = \frac{a}{b}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{2.4}{93.25} = 0.02573561$$

$$\tan^{-1}(0.02573561) = 1.47^\circ$$

$$\tan(1.47) = 0.03 \quad \rightarrow \quad 0.03 \approx 3\%$$

Dekket har en helning på 3% som er innenfor anbefalingen på 2-4% for oppstillingsplass [16, side 91].

7.2 Test 1

I den første testen skal det gjennomføres 5 forsøk hvor en bøtte med 10 liter vann, helles over dekket. De 5 forsøkene utføres forløpende etter hverandre. Hensikten er å teste dekkets evne til å håndtere store mengder vann på kort tid. Det skal ses nærmere på om hulrommet i dekke vil være i stand til å frakte noe av vannet. I løpet av de første forsøkene vil man regne med at større deler vann infiltrerer til grunnforholdene, mens etter hvert vil underlaget bli mettet og vannet vil i større grad benytte seg av dekkets egenskaper.

Vanntanken som plasseres under testeområdet for å fange opp vann har innvendige mål på 125 cm x 27 cm. Det tas mål av hvor mye vann som samles i tanken, disse målene brukes videre til å regne på hvor mye av vannet som infiltreres. Vannmengden fra tanken måles ved at det observeres hvor mange centimeter med vann som står opp i tanken etter endt forsøk. Dermed regnes volumet ved hjelp av de innvendige målene, sammen med vannets høyde i tanken. Ved utregning av infiltrasjonen i det første forsøket tas det utgangspunkt i at dekket er tørt.

Utregning vannmengde i vanntank:

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

L_{tank} – Lengde tank [cm]

B_{tank} – Bredde tank [cm]

H_{vann} – Målt vannhøyde [cm]

Gitte verdier:

$L_{\text{tank}} = 125 \text{ cm}$

$B_{\text{tank}} = 27 \text{ cm}$

Formel:

$$V_{\text{tank}} = L_{\text{tank}} \times B_{\text{tank}} \times H_{\text{vann}}$$

Utregning infiltrert vannmengde:

$V_{rest, i}$ – infiltrert vannmengde [L]

$V_{rest, i-1}$ – Infiltrert vannmengde fra tidligere forsøk [L]

$V_{b\ddot{u}tte}$ – Vannmengde fra b\ddot{u}tte [L]

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

V_{hulrom} – Vannmengde fra hulrom [L]

Gitte verdier:

1 fors\ddot{o}k $V_{rest, 0} = 0$

$V_{b\ddot{u}tte} = 10$ L

Iterativ formel:

$$V_{rest, i} = V_{b\ddot{u}tte} + V_{rest, i-1} - V_{tank} - V_{kopp}$$

Resultater oppsummert i tabell:

Tabell 4: Resultater fra Test 1

Fors\ddot{o}k:	M\ddot{a}lte verdier		Beregninger	
	V_{hulrom} [L]	H_{vann} [cm]	V_{tank} [L]	$V_{rest, i}$ [L]
1	0.01	2.50	8.438	1.552
2	0.19	3.00	10.125	1.237
3	0.40	3.20	10.800	0.037
4	0.48	3.20	10.800	-1.243
5	0.52	3.00	10.125	-1.888

7.2.1 Resultater

Resultatene fra testen er vist i tabell 4. Resultatene viser at vannet fra hulrommene øker for hvert forsøk som gjennomføres. Det gir en indikasjon på at desto mer mett underlaget blir, vil hulrommene i større grad bli benyttet til å frakte vannet. I forsøk 1 er både vannmålinger fra hulrom og vannmengde i oppsamlingstanken betraktelig lavere enn ved de senere forsøkene, mens infiltrert vannmengde er større. Vannet som samles i vanntanken etter hvert forsøk er veldig lik fra forsøk nummer 2-5. I forsøk 4 og 5 viser resultatene negative tall for infiltrert vannmengde. Det betyr dermed at det har samlet seg mer vann fra hulrommene og fra oppsamlingstanken enn vannmengden på 10 liter fra bøtta og den infiltrerte vannmengden fra tidligere forsøk.

7.2.2 Feilkilder og diskusjon

I hovedsak viser resultatene til at dekkets egenskaper kommer til bruk ved store vannmengder. Det kan bekreftes ved at vannmengden fra hulrommene øker etter hvert som underlaget er mett med vann. En feilkilde knyttet til oppsamlingen av vannet fra hulrommene er at rørene som er festet til hulrommene ikke fanger opp alt av vannet, og at noe vil sile ut hvor røret er festet fast med teip. Hvis dette er tilfellet, kan man forvente noe større mengder vann i hulrommene enn hva testresultatene tilsier.

En annen feilkilde er at steinene S01 og S02 er støpt for hånd med ulik betongkvalitet. Dermed oppstår det ujevne gliper mellom belegningssteinene, se figur 118, som i større grad vil unngås ved masseproduksjon. Der glipene er store vil større vannmengder infiltreres og der hvor glipene er tette vil vannet i større grad renne i hulrommene.

Ved beregning av vannvolumet i oppsamlingstanken kan det også oppstå feilkilde ved måling av vannhøyden. Hvis tanken heller litt, har en ujevn bunn eller lignende, kan vannhøyden måles noe unøyaktig mellom hvert forsøk. Er dette tilfellet, vil selv bare noen få millimeter utgjøre store forskjeller på volummengden til vannet. Ved hvert forsøk i denne testen ble målingene tatt samme sted, men feilkilden må likevel nevnes da den kan utgjøre store forskjeller.

Ved forsøk 4 og 5 er resultatene fra infiltrert vannmengde gitt i negative tall, som betyr at summen av vannoppsamlingen utgjør mer en 10L, som er vannet som påføres dekket ved hvert forsøk, sammen med infiltrert vann fra tidligere forsøk. Årsakene til at disse tallene har blitt negative kan være at forsøkene er gjort fortløpende etter hverandre slik at ikke alt vannet som er på vei ned til oppsamlingstanken er med i beregningen fra et forsøk til det andre. Dermed vil det til neste forsøk allerede være et overskudd av vann til oppsamlingstanken. Selv om forsøkene er gjort fortløpende ble det sett til at vannet hadde stoppet å dryppe mellom forsøkene. En annen årsak kan være at selve kontaineren sin flate ikke hadde et resulterende fall, som gjør at vannet ikke finner veien ned til oppsamlingstanken, men blir liggende frem til en ny vannmengde setter i gang en bevegelse, og vannmengden fra tidligere forsøk følger sammen med den nye vannmengden. Beregningene har også tatt utgangspunkt i at underlaget er helt tørt ved første forsøk. Sand- og grusmassene kan ha vært noe fuktige, og dekke ble i prepareringsfasen lett fuktet for bedre komprimering. Selv om disse vannmengdene er minimale, kan de ha påvirket sluttresultatet.

7.3 Test 2

I denne testen er hensikten å få et mer realistisk testresultat tilsvarende nedbør. Det er de samme målingene fra Test 1 som skal utføres i denne testen også, forskjellen er utførelsen av denne testen. Det ble brukt en hageslange til å vanne dekke i 2 minutter og 30 sek, dette gjentas i 3 forsøk. Hageslangen var stilt inn på cirka 2/3 av full styrke for å få en effekt lignende et kraftig regnskyll. Det ble målt i en bøtte først hvor mange liter vann som nyttes for 2 minutter og 30 sekunder.

Målingen i bøtten tilsvarte 30.9L. Til sammenligning ble det utført en utregning basert på at en hageslange med godt trykk kan ha et vannforbruk på 1000L i timen [17].

Utregning:

Totalt vannforbruk per minutt:

$$\frac{1000L}{60 \text{ min}} = 16.67 \text{ L/min}$$

Totalt vannforbruk for 2 min og 30 sek:

$$16.67 \text{ L/min} \times 2.5 \text{ min} = 41.67L$$

2/3 vannforbruk for 2 min og 30 sek:

$$41.67L \times \frac{2}{3} = 27.78L$$

Utregningen hvor vannforbruket er 1000L per time viste at det vil forbrukes 27.78 L for 2 min og 30 sek på 2/3 styrke, som er litt lavere enn det som ble målt i bøtten. I videre utregning brukes tallet som ble mål fra bøtten, da dette tilsvarer det samme trykket som er brukt på testene, dermed 30.9L på 2min og 30 sek. Denne testen ble utført samme dag som Test 1, derfor er underlaget ved denne testet allerede gjennomfuktet.

Utregning vannmengde i vanntank:

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

L_{tank} – Lengde tank [cm]

B_{tank} – Bredde tank [cm]

H_{vann} – Målt vannhøyde [cm]

Gitte verdier:

$L_{\text{tank}} = 125 \text{ cm}$

$B_{\text{tank}} = 27 \text{ cm}$

Formel:

$$V_{\text{tank}} = L_{\text{tank}} \times B_{\text{tank}} \times H_{\text{vann}}$$

Utregning infiltrert vannmengde:

$V_{\text{rest}, i}$ – infiltrert vannmengde [L]

$V_{\text{rest}, i-1}$ – Infiltrert vannmengde fra tidligere forsøk [L]

V_{slange} – Vannmengde fra slange [L]

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

V_{hulrom} – Vannmengde fra hulrom [L]

Gitte verdier:

1 forsøk $V_{\text{rest}, 0} = 0$

$V_{\text{slange}} = 30.9 \text{ L}$

Iterativ formel:

$$V_{\text{rest}, i} = V_{\text{slange}} + V_{\text{rest}, i-1} - V_{\text{tank}} - V_{\text{kopp}}$$

Resultater oppsummert i tabell:

Tabell 5: Resultater fra Test 2.

	Målte verdier		Beregninger	
Forsøk:	V _{hulrom} [L]	H _{vann} [cm]	V _{tank} [L]	V _{rest, i} [L]
1	0.18	7.80	26.325	4.395
2	0.16	9.00	30.375	4.760
3	0.30	7.40	24.975	10.385

7.3.1 Resultater

Resultatene som er fremstilt i Tabell 5, viser at ved de to første forsøkene er vannmengden som samles fra hulrommene relativt like, mens ved det 3 forsøket er det nesten en dobling. Det sammen gjelder for den infiltrerte vannmengden, hvor de to første forsøkene viser jevne resultater, mens det er mer enn en dobling i infiltrert vannmengde i det siste forsøket. I forsøk 2 er også vannmengden fra vanntanken noe høyere enn ved forsøk 1 og 3.

7.3.2 Feilkilder og diskusjon

Ut av resultatene fra Test 2 viser også denne testen at dekkets egenskaper blir nyttet når det blir utsatt for vann. Feilkildene koblet til feste av rørene fra hulrommene, at belegningssteinene er støpt for hånd og feilkildene knyttet til vannmengdene fra oppsamlingstanken vil også gjelde for denne testen. For tydeligere beskrivelse se delkapittel 7.2.2.

En ny feilkilde ved denne testen er at vannet fra vannslangen treffer dekket noe hardt, som gjør at vandrdåper spretter direkte fra dekkets overflate ned i oppsamlingskoppene, i oppsamlingstanken, og/eller utenfor testeområdet. Denne feilkilden kan være årsaken til den betydelig høyere andelen vann fra hulrommene, og den mindre andelen vann i oppsamlingstanken i forsøk 3. Da har resultatene blitt påvirket ved at vann spretter direkte i oppsamlingskoppene, og at noe av vannet spretter utenfor oppsamlingstanken direkte ned til bakken. Det er ikke sikkert at det er dette som har skjedd, det kan også være at dekket er mettet og faktisk benytter seg av hulrommene til å frakte vannet. Dette er uvisst.

Selv om vannslangen er vridd til samme vanntrykk for hvert forsøk, kan minimale feiljusteringer føre til flere liter forskjell fordelt på 2 min og 30 sek. Det ble nøye påsett at vannslangen var vridd til det samme punktet for hvert forsøk, men feilkilden må nevnes da det kan være en årsak til forskjellene.

7.4 Test 3

Denne testen utføres helt likt som Test 2, men er utført dagen etter Test 2. Det var ingen nedbør mellom disse dagene og underlaget består av noe fuktig materiale etter gårsdagens testing. Underlaget virker mer kompakt denne dagen, noe som kan være tilfelle da det fine tilslaget har trengt sammen i det grove tilslaget etter at det ble utsatt for store vannmengder fra dagen før. Rørene som fanger opp vannet fra hulrommene har stått slik over natten, men det festes noe ekstra teip hvor de har løsnet litt, slik at det skal være samme utgangspunkt som for Test 1 og 2. Vannslangen bruker samme trykk som tidligere, i beregningene brukes 30.9L for 2 min og 30 sek.

Utregning vannmengde i vanntank:

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

L_{tank} – Lengde tank [cm]

B_{tank} – Bredde tank [cm]

H_{vann} – Målt vannhøyde [cm]

Gitte verdier:

$L_{\text{tank}} = 125 \text{ cm}$

$B_{\text{tank}} = 27 \text{ cm}$

Formel:

$$V_{\text{tank}} = L_{\text{tank}} \times B_{\text{tank}} \times H_{\text{vann}}$$

Utregning infiltrert vannmengde:

$V_{rest, i}$ – infiltrert vannmengde [L]

$V_{rest, i-1}$ – Infiltrert vannmengde fra tidligere forsøk [L]

V_{slange} – Vannmengde fra slange [L]

V_{tank} – Utregnet volum vanntank [L]

V_{hulrom} – Vannmengde fra hulrom [L]

Gitte verdier:

1 forsøk $V_{rest, 0} = 0$

$V_{slange} = 30.9 \text{ L}$

Iterativ formel:

$$V_{rest, i} = V_{slange} + V_{rest, i-1} - V_{tank} - V_{kopp}$$

Resultater oppsummert i tabell:

Tabell 6: Resultater fra Test 3.

Forsøk:	Målte verdier		Beregninger	
	V_{hulrom} [L]	H_{vann} [cm]	V_{tank} [L]	$V_{rest, i}$ [L]
1	0.23	8.00	27.00	3.670
2	0.33	8.50	28.688	1.882
3	0.35	9.20	31.050	-0.50

7.4.1 Resultater

Resultatene fra Tabell 6 viser resultatene fra Test 3. Resultatene viser jevnere målinger enn ved Test 2. Fra forsøk 1 er det noe mindre vann fra hulrommene enn ved de resterende forsøkene, mens vannmengden som er infiltrert er større. Denne testen får et negativt tall i forsøk 3, som betyr at vannmengde fra vanntanken og hulrommene er større en vannmengden som dekket påføres ved hageslangen og infiltrert vannmengde fra tidligere forsøk.

7.4.2 Feilkilder og diskusjon

Denne testen er den som har de jevneste resultatene. En grunn til at disse resultatene er mer jevne enn fra de tidligere testene kan være at dekkets underlag er mer komprimert enn dagen før da de andre testene ble utført. Det mer faste dekke kan opptre mindre permeabelt og ha mindre infiltreringsevne enn dagen før. Dette vil da føre til at det ved mindre vannmengder vil bli mettet og vil raskere benytte seg av dekkets egenskaper.

Selv om resultatene fra denne testen er jevne, vil feilkilder som er nevnt i delkapittel 7.2.2 og 7.3.2 være gjeldene for denne testen også.

7.5 Videre arbeid

Resultatene fra testene viser at hulrommene til dekke kommer til nytte ved store vannmengder. Vann avledes gjennom hulrommene, og vil dermed fordrøye vann ved store nedbørmengder. Testene er gjennomført i tilrettelagte omgivelser på et lite område, og over en kort tidsperiode. Det anbefales derfor å teste dekket på et større område over lengre tid for å få testresultater fra realistiske omgivelser. Et dekke kan over tid blir utsatt for ulike laster, sand og grus ved strøing, ugress, slam, vedlikeholdsarbeid og lignende. Det er uvisst hvordan dekke håndterer sand, stein og slam som kan trenge ned i glipene til dekket, og videre ned i hulrommene. Det kan være interessant å teste hvilke utfordringer det medfører over tid og om det vil være behov for regelmessig rensing for å unngå fortetning. Et dekke vil også over tid være utsatt for ulike værforhold, det vil dermed være relevant å teste dekke gjennom de ulike årstidene. De nevnte faktorene vil være aktuelle ved videre arbeid av belegningssteinene.

Det er ikke utført lastberegninger for dekke bestående av S01 og S02. Det vil være aktuelt å gjennomføre lastberegninger knyttet til dekke, da S02 kan utgjøre forskjell fra et dekke bestående kun av belegningssteinen S01. Det vil også være nyttig å teste dekke sammen med kantavslutningene i betong, avsluttet med en kantsikring for et stabilt dekke med minimal forskyvning.

8 Oppsummering og konklusjoner

Belegningssteinen har gjennomgått flere designendringer fra den ble patentert til den er beskrevet i denne oppgaven. I kapittel 1 vises de ulike designforslagene hvor flere var gode kandidater til videre testing. I oppgaven til Stavnes ble det oppfordret til å undersøke design V10 videre da dette var et av de mest lovende designene. Torgrimsen skrev videre om V10, som han i sin oppgave refererte til som S01, dette navnet brukes også i denne oppgaven. Torgrimsen fokuserte oppgaven sin rundt dekkets termiske egenskaper, teoretiske lastberegninger og vridningslaster. I denne oppgaven ses det videre på S01, sammen med en justert versjon S02, hvor oppgavens formål er å finne ut om belegningssteinene kan være relevante med tanke på overvannshåndtering.

Kapittel 2 gir en innføring i den generelle kunnskapen om belegningsstein i betong. Det beskriver hvordan omstendighetene til en belegningsstein vanligvis er, og opplyser om viktige elementer ved bruk av belegningsstein som et dekke. Det kan brukes til sammenligning mot S01 og S02 hvor omstendighetene kan avvike noe fra normalen.

En generell innføring av overvann er gitt i kapittel 3. Her belyses hvorfor det er viktig å sikre gode overvannshåndteringer, særlig ved økt urbanisering og fortetning. Kapitlet forklarer også om permeable dekker, og hvordan ulike grunnforhold har noe ulike løsninger ved håndteringen av overvannet.

I kapittel 4 er det detaljerte beskrivelser av S01 og S02, deres dimensjoner og egenskaper. Det er også utført beregninger på forbruket, både nøyaktig forbruk per kvadratmeter og hvor mange hele steiner som passer innenfor en kvadratmeter. Nøyaktig forbruk per kvadratmeter er 45.66 steiner, mens antall steiner som får plass innenfor en kvadratmeter er 40 stykk, hvor 20 steiner består av S01 og 20 steiner består av S02. Det er også gjort beregninger på hvor stort volum hulrommene i dekke holder per kvadratmeter. Det totale volumet, og dermed også vannmengden, hulrommet holder per kvadratmeter er 3.012 liter. Til å justere formene fra S01 til støping av S02 ble det dimensjonert en brikke som festes til formene, denne ble deretter 3D-printet til 24 stykker. I dette kapitlet er det også presentert 8 ulike kantavslutninger, som skal avslutte dekke med rette linjer. Det er også tegnet et eksempel på slisserenne til å fange opp vannmengder både fra hulrommet og fra overflaten til dekke.

Videre i kapittel 5 er det 3D-printet 24 stykk av brikken til å justere støpeformene. Det ble også besluttet å 3D-printe et dekke besående av S01, S02 og Kantavslutning 1, 2, 3 og 4. Disse ble skalert ned til halv størrelse av den opprinnelig, og hadde som hensikt å se hvordan S02 ville opptre sammen med S01, samt se hvordan kantavslutningene ville fungere sammen med belegningssteinene. Det viste seg at S02 virket godt sammen med S01, og at dekke fortsatt fremstår stabilt. Kantavslutning 1 fungerte godt og la seg stødig sammen med dekke. Kantavslutning 2, 3, og 4 var svakere og skled fra dekke ved minimal belastning. Kantavslutningene er i hovedsak ment for å avslutte dekket med rette avslutninger, og behøver tilstrekkelig kantsikring til å låse dekket sammen, før det utsettes for laster. Til dekke som er i opprinnelig skala og brukes til videre tester, ble det printet ut kantavslutning 5, 6, 7, og 8. I dette tilfellet viste det seg at kantavslutning 5 er den mest stabile og også den som er koblet til flest kontaktpunkter blant alle kantavslutningene. Kantavslutning 6, 7, og 8 har flere kontaktpunkter enn kantavslutning 2, 3, og 4 og oppleves dermed mer stabile mot dekke. Likevel vil de også ved belastning kunne falle fra hverandre og er avhengig av tilstrekkelig kantsikring for å holde dekke stabilt.

Det ble støpt 24 belegningssteiner av S02 i betong, fordelt på to omganger. Disse skal sammen med S01, som ble støpt våren 2020 av Torgrimsen, brukes i dekke til videre testing. Før formene fylles med betongen festes brikken som justerer formene fra å være S01 til å bli S02, ved hjelp av teip. Det ble brukt to ulike resepter, dermed ble det noen forskjeller på resultatene av støpningen. Som beskrevet i kapittel 6 var den første betongresepten tørr og den resepten som i størst grad gav ulik jevnhet. Steinene som var best egnet ble brukt på testdekket.

For å teste dekke for overvannshåndtering ble det utført to ulike tester, der den ene testen gjennomføres to ganger. I kapittel 7 forklares hvordan underlaget er lagt og med hvilke materialer. Etter underlaget er klargjort legges først S01 ut over området, og dekket legges ferdig med S02 over. Så legges de 3D-printa kantavslutningene, hvor det festes plastrør til hulrommene og plasseres oppsamlingskopper til å fange opp vannet fra rørene. Under dekket som er plassert over bakken, settes en oppsamlingstank som fanger opp vann fra underlaget. Helningen på dekke er 3%.

I den første testen ble en bøtte med 10 liter vann helt over dekke, dette ble gjentatt ved fem forsøk. For hvert forsøk ble det tatt målinger over hvor mye vann som ble samlet i oppsamlingskoppene fra hulrommene, og målinger fra oppsamlingstanken. Det ble også utført beregninger for hvor mye vann som infiltrertes i dekke for hvert forsøk. Test 2 og Test 3 gjennomføres likt, men er utført på forskjellige dager. I disse testene utføres de samme målingen og beregningene. Forskjellen er at dekke blir vannet med vann fra en hageslange i 2 minutter og 30 sekunder per forsøk. Forsøkene gjentas tre ganger.

Resultatene fra testene viser at dekkets egenskaper virker ved håndtering av store nedbørsmengder. Hulrommet i dekket blir benyttet til å lede bort vann og vil dermed kunne fordrøye vann ved store mengder nedbør. Testene er gjennomført på et lite område i tilrettelagte omgivelser. Testene i oppgaven er utført på en kort tidsperiode. Det anbefales dermed å teste dekke på et større område i realistiske omgivelser, samt over en lengre tidsperiode. Det er aktuelt å teste dekket sammen med kantavslutningene i betong, avsikret med en kantsikring for et stabilt dekke med minimal forskyvning. Dekke bestående av S01 og S02 anbefales å testes for laster da dette ikke er utført i denne oppgaven.

Referanser:

- [1] Patentstyret.
<https://search.patentstyret.no/Patentskrifter/Publisering/334243.pdf> [Funnet 24.01.2021].
- [2] Ø. Rogn, *En ny type belegningsstein*. Stavanger: UiS, 2011.
- [3] A. J. Lillestøl, *Nyutvikling av betongstein*. Stavanger: UiS, 2011.
- [4] F. A. Stavnes, *Videreutvikling av belegningsstein med mulighet for integrerte tekniske installasjoner*. Stavanger: UiS, 2017.
- [5] K. M. Torgrimsen, *Trykkfordelende belegningsstein med mulighet for tekniske installasjoner*. Stavanger: UiS, 2020.
- [6] Vegdirektoratet, *Steindekker*, Statens Vegvesen, 2018. [Online]. Hentet fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/2459564/binary/1288349?fast_title=Håndbok+V262+Steindekker+-+Belegningsstein%2C+heller%2C+gatestein+og+plater+%285+MB%29.pdf
[Lastet ned: 01.03.2021].
- [7] Norsk Betongindustriforening, *Belegningsprodukter på veier og plasser*, Oslo, Norsk Betongindustriforening, 2000. [Online]. Hentet fra:
https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2012062608180
[Lastet ned: 01.03.2021].
- [8] J. V. Thue, *Fundament*. Store norske leksikon. Hentet fra:
<https://snl.no/fundament>
[Funnet 01.03.2021].

- [9] Norsk Belegningsstein. *Settelag*, Belegningsstein.info. Norsk Belegningsstein.
Hentet fra:
<http://www.belegningsstein.info/utfoerelse/settelag/>
[Funnet 19.03.21].
- [10] Vegdirektoratet, *Vegbygging*, Statens Vegvesen, 2018. [Online]. Hentet fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/2364236/binary/1269980
[Lastet ned 22.03.21].
- [11] Norsk Kommunalteknisk Forening, *Belegningsstein og heller av betong – en veiledning*, Oslo, Norsk Kommunalteknisk Forening, 2005. [Online]. Hentet fra:
<https://www.asak.no/content/download/6548/37204/file/NKF-hefte.pdf>.
[Lastet ned 26.04.21].
- [12] Norsk Belegningsstein. *Produksjon*, Belegningsstein.info. Norsk Belegningsstein.
Hentet fra:
<http://www.belegningsstein.info/produkt/produksjon/>
[Funnet 19.03.21].
- [13] Ødegaard, H. (2014) *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Hamar: Norsk Vann.
- [14] Norges Geologiske Undersøkelse, *Overvannshåndtering*, NGU. Hentet fra:
<https://www.ngu.no/grunnvanninorge/arealforvaltning/klimatilpasning/overvannshandtering>
[Lastet ned 30.03.21]
- [15] Asak Miljøstein, *Permeable Dekke*, 2013, [Online] Hentet fra:
https://www.asak.no/proff/Offentlig-uterom/Dokumentasjon/Andre-dokumenter/ASAK_Brosjyre-Permeable-dekker
[Lastet ned 30.03.21].
- [16] Vegdirektoratet, *Veg- og gateutforming*, Statens Vegvesen, 2019. [Online]. Hentet fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/61414
Lastet ned: 27.03.2021

[17] R. Åserud, *Hagevanning kan bli dyrt*, Huseiernes Landsforbund. Hentet fra:

<https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/hage/hagevanning-kan-bli-dyrt/>

Lastet ned: 15.04.21

Vedlegg:

1. Sikker jobbanalyse – Støping av belegningsstein
2. Sikker jobbanalyse – Legge dekke
3. Norstone 0/8mm
4. Norstone 8/16mm
5. Styrkesimulering i ANSYS Workbench

Sikker jobbanalyse (SJA)



Jobb Støping av belegningsstein	
Sted (romnr, område) Ivar Langens Hus L-101, 102, 103	
Kort beskrivelse av arbeidet Støpe belegningssteiner i formene. Betongproduksjonen var i forbindelse med andre gruppers prosjekt, og ved hjelp av Jarle Berge. Avstøping av formene utføres 24 timer etter støping.	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input checked="" type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiki forbundet med arbeidet (se liste under)	Tiltak
1	Holde god avstand fra betongblandemaskinen når den er påskrudd. Ved avstøping påse at ingen kroppsdeler er utsatt for klemfare ved hamring på formene.
5	Passe på at håndteringen av materialer skjer i flere omganger og små mengder slik det ikke løftes unødvendig tungt. Bruke riktig teknikk ved løft.
9	Bruk hørselvern når betongblandemaskinen er i bruk, og hvis andre i omgivelsene skaper støy.
12	Bruk vernebriller og maske/munnbind ved håndtering av materialer med støv om mindre partikler.
19	Gå forsiktig inne på verkstedet og vær oppmerksom på andre rundt og omgivelsene. Vær obs på trucker.
Avfallshåndtering Større betongrester samles opp i en beholder, og rester som sitter igjen på utstyret spyles av og føres ut i avløpet. Papir, teip, engangshandsker og lignende kastes i restavfalldunker.	
Konklusjon Arbeidet utføres sikkert ved å være oppmerksom på risikoene i omgivelsene og ved bruk av sunn fornuft.	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/>) Amalie Eikeskog	Navn John Charles Grønli
Dato/sign 30.04.21	Dato/sign

Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fyller ut etter utført jobb)
Ved god planlegging i forkant, gjennomføres arbeidet på en sikker og god måte. Ved å ha arbeidet på en palle, er det enkelt for veileder å flytte arbeidet etter behov vha truck.

- | | |
|---|---|
| 1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare | 11. LASER |
| 2. Skarp gjenstand (kutt, stikk) | 12. Støv, røyk |
| 3. Fallende gjenstand | 13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer |
| 4. Fall (arbeid over 1,5m) | 14. Giftige stoffer eller gasser |
| 5. Tunge løft/tunge materialer | 15. Biologiske farer (GMO) |
| 6. Overflater med høy eller lav temperatur | 16. Mangelfull belysning |
| 7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V) | 17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør) |
| 8. Høyt trykk, sprutfare | 18. Konstruksjonssvikt |
| 9. Støy, vibrasjon | 19. Sammenstøt/påkjørsel |
| 10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder | 20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag) |
| 21. Arbeid i tanker/oksygenmangel | 22. Drukningfare |

Sikker jobbanalyse (SJA)



Jobb Legge dekke	
Sted (romnr, område) Ivar Langens Hus L-101, 102, 103	
Kort beskrivelse av arbeidet Legge et dekke litt over bakken i en kontainer. Dekke består av et underlag av to ulike tilslag, og deretter legges belegningssteinene.	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input checked="" type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiki forbundet med arbeidet (se liste under)	Tiltak
2	Noen av belegningssteinene S01 støpt fra tidligere inneholdt små stålfibre og skraper i huden på hendene. Bruk handsker ved håndtering av disse.
3	Kontaineren som dekke ble lagt i var plassert litt over bakken. påse at kontaineren ligger stabilt på underlaget før den utsettes for laster.
5	Frakte materiale i flere omganger og i mindre mengder. Ikke bære for mange belegningssteiner på en gang, og bruke riktig løfteteknikk.
12	Bruk vernebriller og maske/munnbind ved håndtering av materialer med støv og mindre partikler, gjelder for håndtering av tilslaget.
19	Truck ble brukt til å flytte gjenstander, påse å holde god avstand
Avfallshåndtering Belegningssteinene ryddes bort og blir tatt vare på til eventuelt videre bruk. Tilslaget samles sammen i beholdere til videre bruk eller til videre avfall. Resten ryddes på plass.	
Konklusjon Arbeidet oppleves som greit å gjennomføre når de store gjenstandene er flyttet riktig vha truck. Materialer og gjenstander løftes i flere omganger enn for tungt på en gang, og verneutstyr brukes ved behov. God planlegging i forkant av arbeidet gjør det enkelt og trygt å gjennomføre.	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/>) Amalie Eikeskog	Navn John Charles Grønli
Dato/sign 30.04.21	Dato/sign

Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fylles ut etter utført jobb)
Ved god planlegging i forkant, gjennomføres arbeidet på en sikker og god måte. Ved å ha arbeidet på en palle, er det enkelt for veileder å flytte arbeidet etter behov vha truck.

1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare
2. Skarp gjenstand (kutt, stikk)
3. Fallende gjenstand
4. Fall (arbeid over 1,5m)
5. Tunge løft/tunge materialer
6. Overflater med høy eller lav temperatur
7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V)
8. Høyt trykk, sprutfare
9. Støy, vibrasjon
10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder
11. LASER
12. Støv, røyk
13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer
14. Giftige stoffer eller gasser
15. Biologiske farer (GMO)
16. Mangelfull belysning
17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør)
18. Konstruksjonssvikt
19. Sammenstøt/påkjørsel
20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag)
21. Arbeid i tanker/oksygenmangel
22. Drukningfare

Dato:	07.04.2021	Kunde:	UIS
Materiale:	0/8 mm System 2+	Havn:	
Varenr:	101718-115	Båt:	
Følgeseddel nr:			
Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	NorStone Årdal
Identifikasjon av prøven	0/8 mm 115	Operator	Sæbø
Dato mottatt/uttatt	31.03.2021	Dato utført	31.03.2021
Metod (angi)	<input type="checkbox"/> Vasking og sikting	Standard	NS-EN 12620
	<input checked="" type="checkbox"/> Tørrsikting	Sertifikat:	1111-CPD-0007
		Produksjonssted	NorStone Årdal

Total tørr masse $M_1 =$ 750,6 g

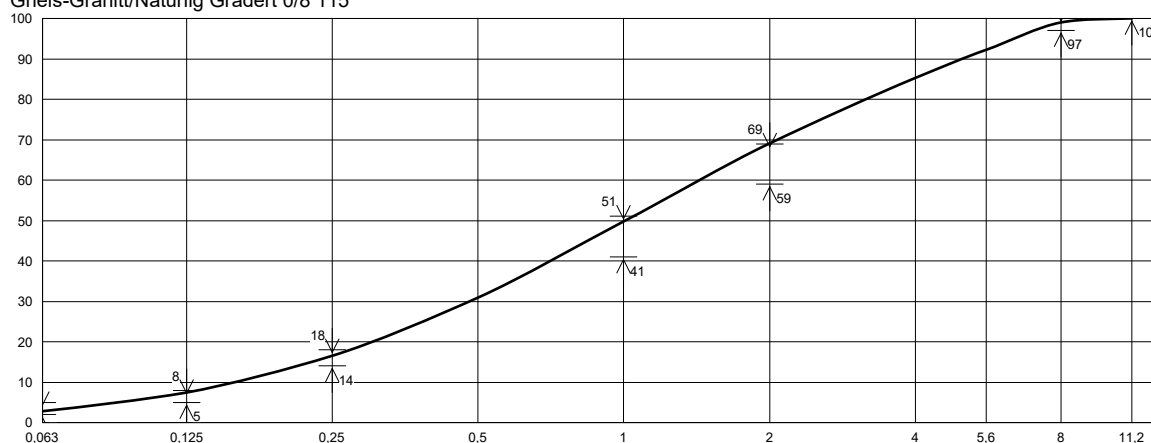
Tørr masse etter vasking $M_2 =$ g

Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ g

Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
11,2			100,0	100,0	100,0	
8	7,1	0,9	99,1	99,0	97,0	100,0
5,6	51,0	6,8	92,2	90,0		
4	52,4	7,0	85,2	80,0		
2	121,4	16,2	69,0	64,0	59,0	69,0
1	144,7	19,3	49,7	46,0	41,0	51,0
0,5	141,1	18,8	30,9	28,0		
0,25	108,0	14,4	16,5	16,0	14,0	18,0
0,125	67,6	9,0	7,4	7,0	5,0	8,0
0,063	34,5	4,6	2,8	3,0	2,0	5,0
< 0,063	21,3	2,8				
Sum	749,1	100,0	0,2	< 1% Prosentats materiale tapt		

Gneis-Granitt/Naturlig Gradert 0/8 115



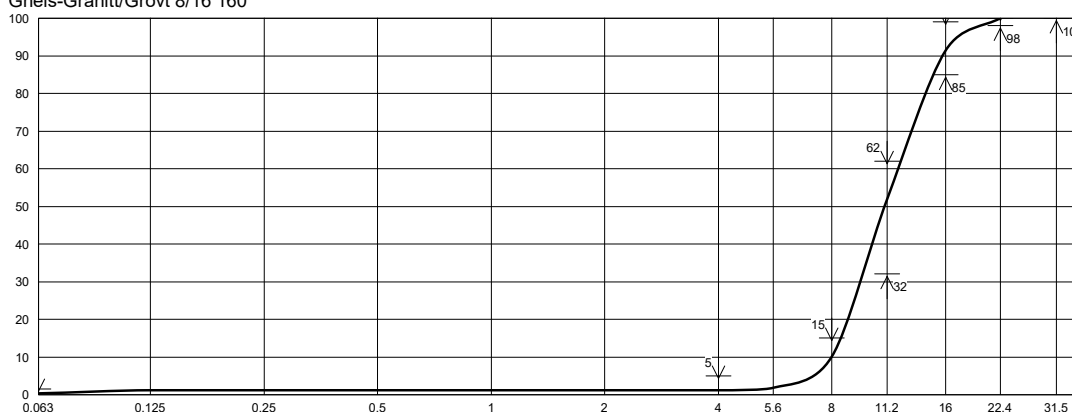
Dato: 07.04.2021 **Kunde:** UIS
Materiale: 8/16 mm System 2+ **Havn:**
Varenr: 101711-160 **Båt:**
Følgeseddel nr:

Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	NorStone Årdal
Identifikasjon av prøven	8/16 mm 160	Operatør	Sæbbø
Dato mottatt/uttatt	30.03.2021	Dato utført	30.03.2021
Metod (angi)	<input type="checkbox"/> Vasking og sikting	Standard	NS-EN 12620
	<input checked="" type="checkbox"/> Tørrsikting	Sertifikat:	1111-CPD-0007
		Produksjonssted	NorStone Årdal

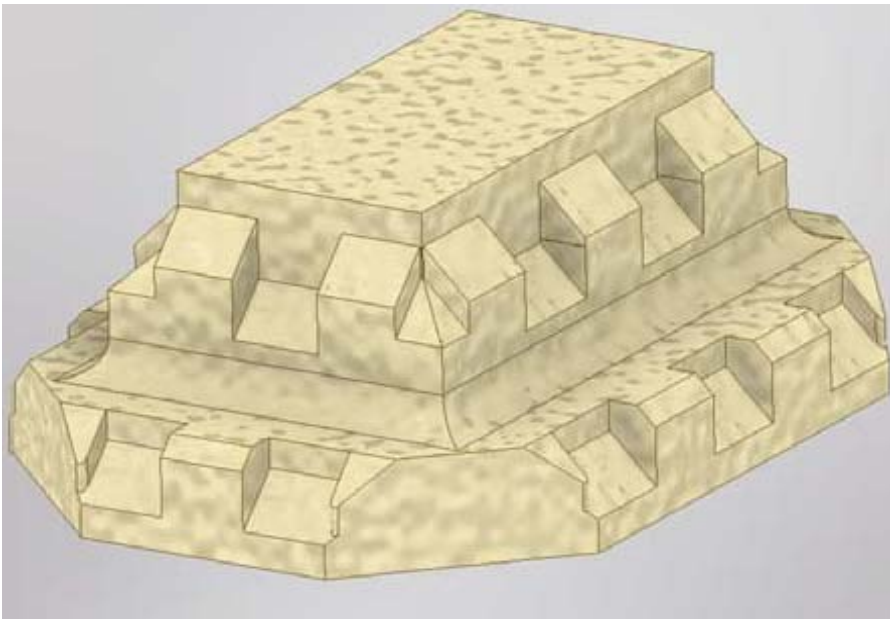
Total tørr masse $M_1 =$ 1900,9 g
Tørr masse etter vasking $M_2 =$ g
Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ g
Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 1,6

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
31,5					100,0	
22,4			100,0	100,0	98,0	100,0
16	162,1	8,5	91,5	90,8	85,0	99,0
11,2	750,5	39,5	52,0	46,9	32,0	62,0
8	795,5	41,9	10,1	8,9		15,0
5,6	155,5	8,2	1,9	2,7		
4	12,7	0,7	1,2	2,3		5,0
2	0,0	0,0	1,2	2,0		
1	0,0	0,0	1,2	1,7		
0,5	0,0	0,0	1,2	1,3		
0,25	0,0	0,0	1,2	0,9		
0,125	0,0	0,0	1,2	0,6		
0,063	18,2	1,0	0,3	0,4		1,5
< 0,063	4,9	0,3				
Sum	1899,4	100,0	0,1	< 1% Prosentats materiale tapt		

Gneis-Granitt/Grovt 8/16 160



Roadblock strength simulation using ANSYS Workbench



ANSYS workbench Simulation

Methods and Assumptions

The **roadblock** is modelled using Autodesk inventor 2017 and imported to ANSYS workbench.

Engineering data: the data for **concrete non-linear material (concrete NL)**. The block is modelled as a single object considering in different in different orientation and therefore, simulation is carried out on single block and on two faces of the block.

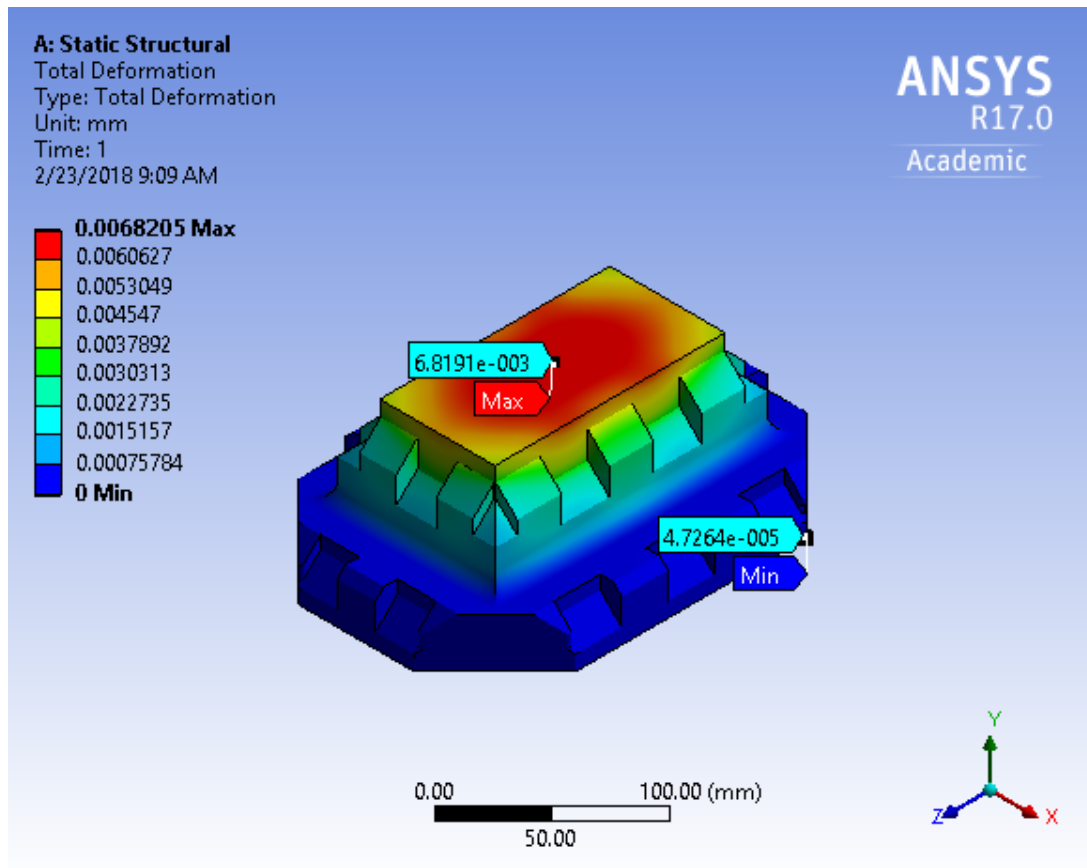
Type of Load: distributed load which is approximately equal to loads of $\frac{1}{4}$ of the weight of a truck which is approximately 30 KN distributed load is applied on both faces on after the other.

Boundary condition: the block is considered as fixed to the ground and pressure is applied from the top.

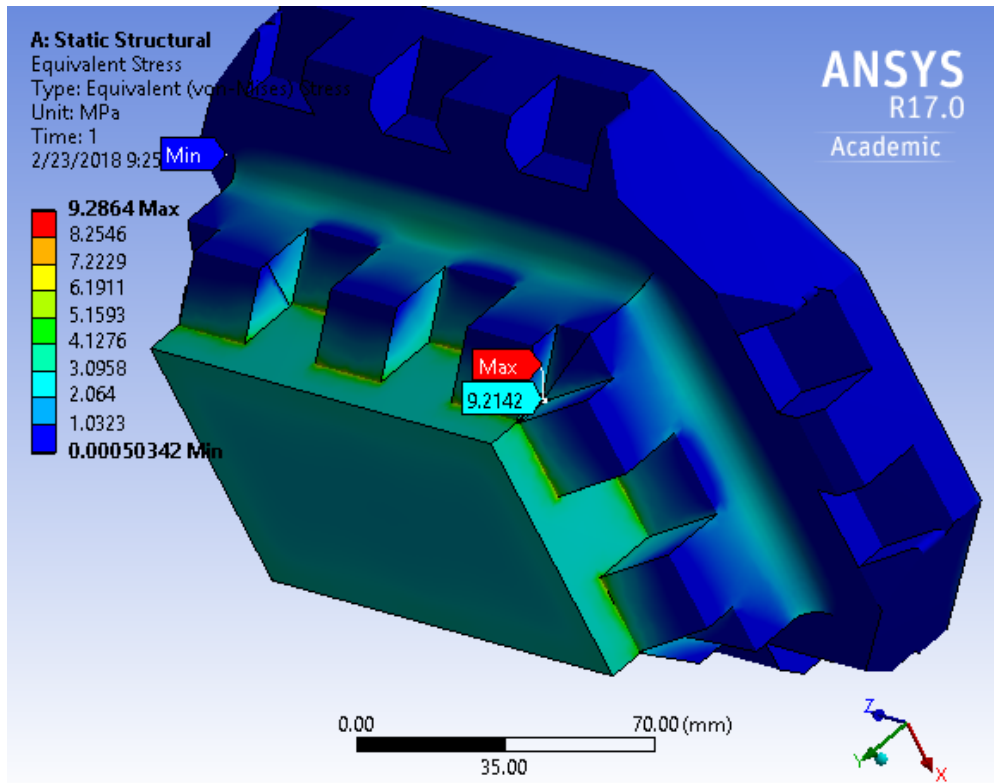
Result Summary

1. The case when load is applied on narrow face of the block.

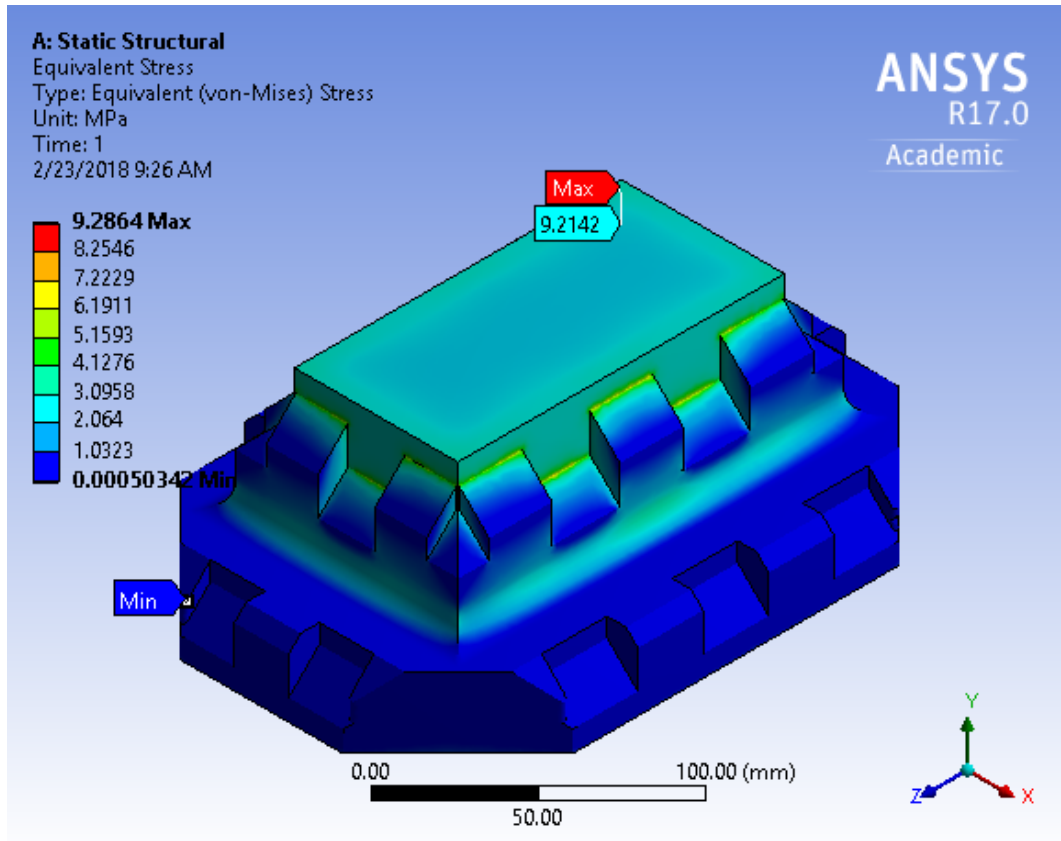
Total Deformation



Equivalent Stress



Equivalent Stress

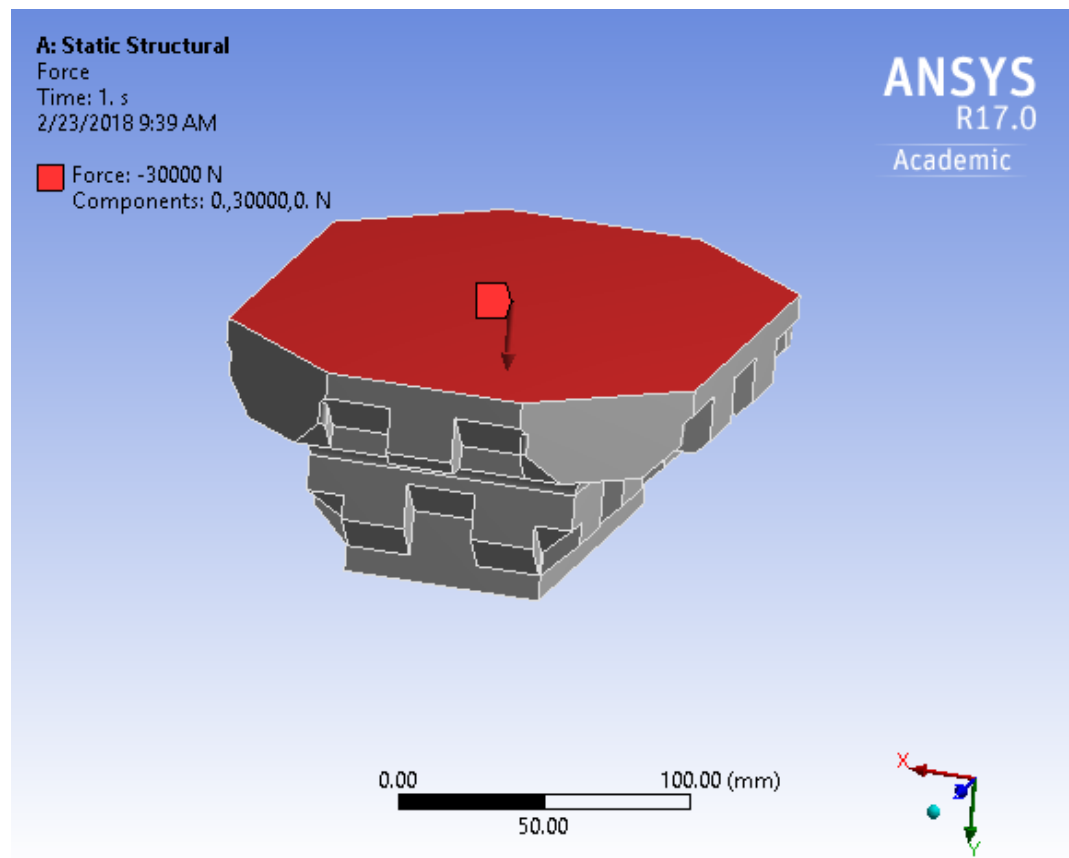


Result when load applied on narrow surface

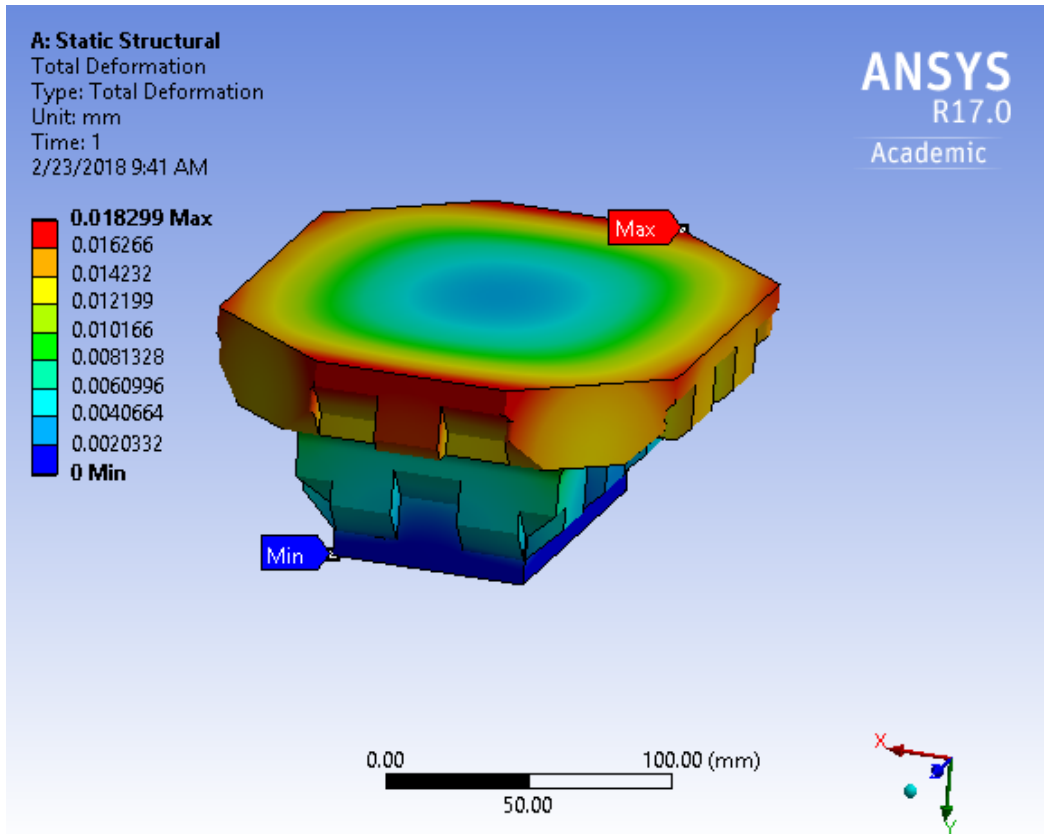
	Deplacment Distribution	Stress Distribution
Minimum	0. mm	5.0e-004 MPa
Maximum	6.8e-003 mm	9.3 MPa

2. The case when load is applied on wider face of the block.

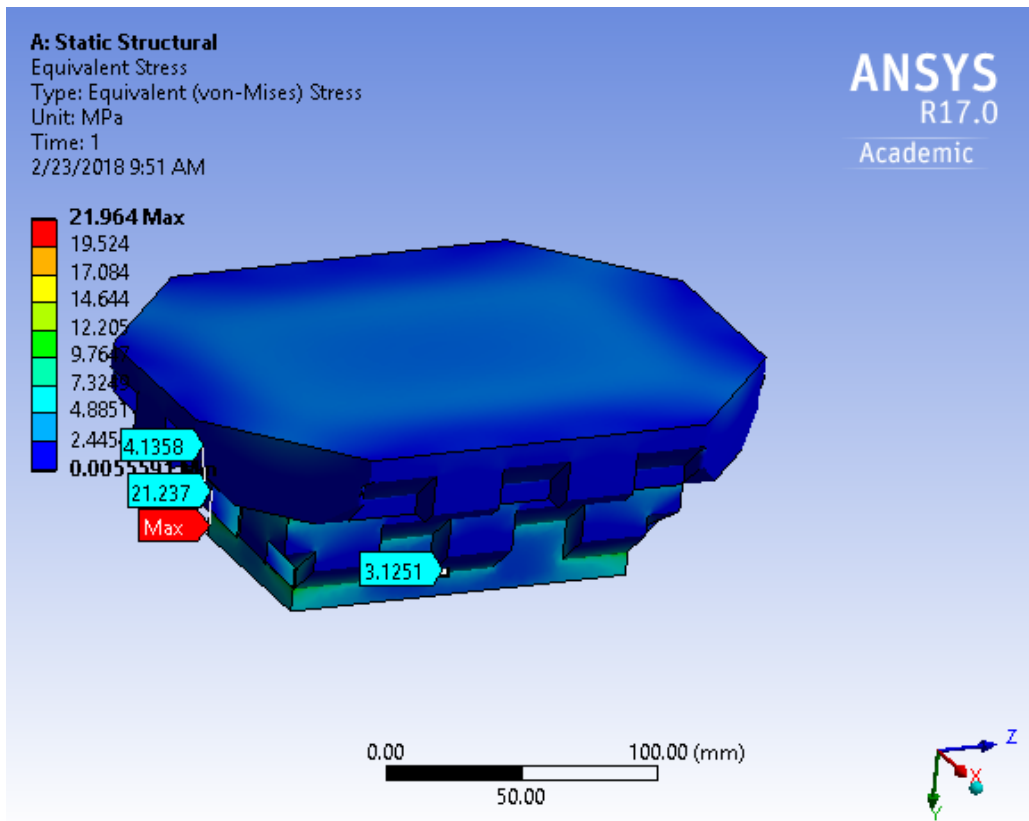
Force



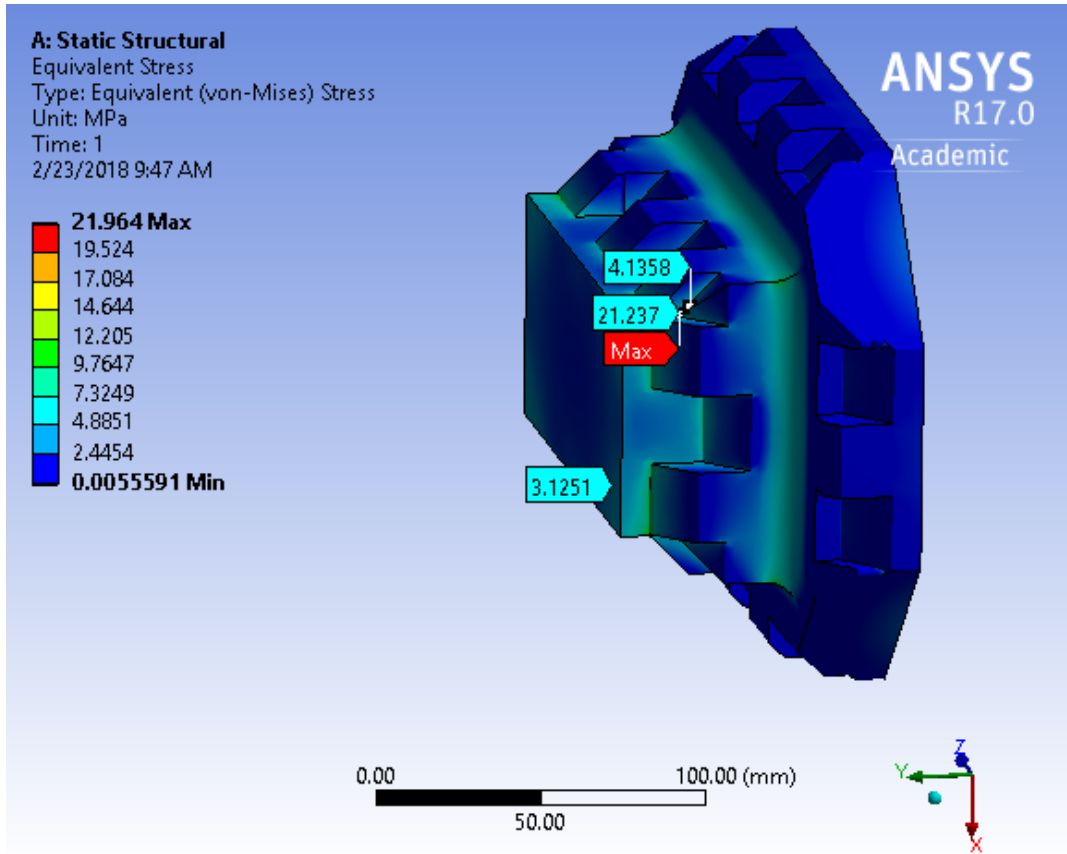
Total Deformation



Equivalent Stress



SIMULATION RESULT REPORT



Result when load applied on wider face

Minimum	0. mm	5.6e-003 MPa
Maximum	1.8e-002 mm	22.0 MPa

In both cases maximum stress is developed on sharp edge where there is large stress concentration. This can be reduced by removing the sharp edges.

3. Updated simulation results

Based on the comment given on the former report, the stress concentrated areas were removed. The displacement and stress results before and after modification is compared on the following table.

Table 1. When load is applied on narrow face of the block before and after the stress, concentrated areas are removed.

Displacement (mm)	Before	6.801e-3
	After	6.82e-3
	Difference	1.90E-05
Stress (MPa)	Before	9.3
	After	5.21
	Difference	4.09

Table 2. When load is applied on wider face of the block before and after the Stress, concentrated areas are removed.

Displacement (mm)	Before	1.8e-2
	After	1.83e-2
	Difference	-3.00E-04
Stress (MPa)	Before	22
	After	15.72
	Difference	6.28