



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Airidas Morkūnas

**INOVATYVIŲ PERDANGŲ KONSTRUKCIJŲ  
SPRENDIMŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. Rėda Bistrickaitė

Kaunas, 2019

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**INOVATYVIŲ PERDANGŲ KONSTRUKCIJŲ  
SPRENDIMŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)**

**Vadovas**

Doc. Rėda Bistrickaitė

**Recenzentas**

Doc. dr. Vytautas Sasnauskas

**Projektą atliko**

Airidas Morkūnas

Kaunas, 2019



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros

(Fakultetas)

Airidas Morkūnas

(Studento vardas, pavardė)

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija, 6211EX008

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Inovatyvių perdangų konstrukcijų sprendimų tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 19 m. sausio mėn 03 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Airido Morkūno**, baigiamasis projektas tema „Inovatyvių perdangų konstrukcijų sprendimų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Morkūnas, Airidas. INOVATYVIŲ PERDANGŲ KONSTRUKCIJŲ SPRENDIMŲ TYRIMAS. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Rėda Bistrickaitė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Statybos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: *perdanga, liktinis įdėklas, BubbleDeck, Cobiax, U-Boot Beton, Beeplate.*

Kaunas, 2019. 81 p.

## **Santrauka**

Magistro baigiamąjį darbą sudaro teorinė ir praktinė dalys. Teorinėje dalyje atliekama išsami literatūros analizė, apžvelgiamos pagrindinės perdangų su liktiniais įdėklais techninės ir mechaninės charakteristikos, aprašomos pagrindinės teigiamos ir neigiamos savybės, analizuojama projektavimo metodika. Praktinėje dalyje atliekami trijų skirtingų ilgių monolitinių ir perdangų su liktiniais įdėklais analitiniai skaičiavimai, nustatomos pagrindinės mechaninės charakteristikos ir efektyvumo rodikliai. Atliekama rezultatų analizė ir pateikiamos išvados.

Morkūnas, Airidas. RESEARCH OF INNOVATIVE SOLUTIONS OF FLOOR STRUCTURES. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. Rėda Bistrickaitė; The Faculty of Architecture and Construction, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Civilic Engineering.

Keywords: *slab, internal void, BubbleDeck, Cobiax, U-Boot Beton, Beeplate.*

Kaunas, 2019. 81 p.

## **Summary**

Master's thesis consists of a theoretical and applied parts. The theoretical part presents analysis of the voided slabs, the investigation of technical and mechanical characteristics, benefits and drawbacks and methodology of design. The applied part contains the analytical calculations of three diferent longspan monolythic and voided slabs, identifying the efficiency and mechanical characteristics. The analysis of the obtained results and conclusions are presented.

# Turinys

|   |    |
|---|----|
| Paveikslėlių sąrašas .....                                      | 8  |
| Lentelių sąrašas.....   | 10 |
| Įvadas.....   | 11 |
| 1. Literatūros analizė.....                                     | 13 |
| 1.1. Naudojamos medžiagos .....                                 | 14 |
| 1.2. Panaudojimo sritys.....                                    | 15 |
| 1.3. Perdangų su liktiniais įdėklais konstrikcijų tipai .....   | 15 |
| 1.4. Pagrindiniai liktinių įdėklų gamintojai .....              | 16 |
| 1.4.1. „BubbleDeck“.....  | 18 |
| 1.4.2. „Cobiax“ .....   | 19 |
| 1.4.3. „U-Boot Beton“ .....                                     | 20 |
| 1.4.4. „BEEPLATE“ .....   | 21 |
| 1.5. Mechaninės charakteristikos.....                           | 23 |
| 1.5.1. Stiprumas lenkimo metu.....                              | 23 |
| 1.5.2. Skersinio pjūvio stiprumas .....                         | 24 |
| 1.5.3. Pleišėjimas .....  | 26 |
| 1.5.4. Ugniaatsparumas .....                                    | 26 |
| 1.6. Privalumai ir trūkumai .....                               | 26 |
| 1.6.1. Privalumai.....  | 26 |
| 1.6.2. Trūkumai .....   | 29 |
| 1.7. Pirmojo skyriaus išvados .....                             | 30 |
| 2. Konstrukcijų skaičiavimo metodika .....                      | 31 |
| 2.1. Skersinio pjūvio stiprumo nustatymas .....                 | 32 |
| 2.2. Praspaudimo sąlygos skaičiavimas .....                     | 33 |
| 2.3. Perdangų su liktiniais įdėklais skaičiavimo modelis .....  | 34 |
| 2.4. Perdangos su liktiniais įdėklais parametrų nustatymas..... | 35 |
| 2.5. Antrojo skyriaus išvados.....                              | 36 |
| 3. Konstrukcijų skaičiavimas.....                               | 37 |
| 3.1. Apkrovų skaičiavimas .....                                 | 37 |
| 3.2. 9m. perdangos plokštė .....                                | 38 |
| 3.2.1. Monolitinė perdanga.....                                 | 38 |
| 3.2.2. „BubbleDeck“ perdanga.....                               | 45 |
| 3.3. 12m. perdangos plokštė .....                               | 51 |
| 3.3.1. Monolitinė perdanga.....                                 | 51 |
| 3.3.2. „BubbleDeck“ perdanga.....                               | 56 |
| 3.4. 15m. perdangos plokštė .....                               | 62 |
| 3.4.1. Monolitinė perdanga.....                                 | 62 |
| 3.4.2. „BubbleDeck“ perdanga.....                               | 68 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5. Trečiojo skyriaus išvados ir rezultatų analizė..... | 74 |
| Išvados .....  | 78 |
| Literatūros sąrašas .....                                | 79 |
| Priedai.....   | 81 |

## Paveikslėlių sąrašas

|   |    |
|---|----|
| 1.1 pav. Liktinis įdėklas .....   | 14 |
| 1.2 pav. Perdangų su liktiniais įdėklais konstrukcijų tipai [3].....                  | 14 |
| 1.3 pav. „BubbleDeck“ perdanga su liktiniais įdėklais.....                            | 17 |
| 1.4 pav. „Cobiax“ perdanga su liktiniais įdėklais .....                               | 18 |
| 1.5 pav. „Cobiax“ perdangos schema [2].....   | 18 |
| 1.6 pav. „Slim-Line“ ir „Eco-Line“ Cobiax įdėklais .....                              | 19 |
| 1.7 pav. „U-Boot Beton“ liktinis įdėklas .....  | 19 |
| 1.8 pav. „U-Boot Beton“ viengubas „SINGLE“ ir dvigubas „DOUBLE“ įdėklai .....         | 20 |
| 1.9 pav. „U-Boot Beton“ sistemos specialūs predai .....                               | 20 |
| 1.10 pav. „BEEPLATE“ liktiniai įdėklai [12] .....                                     | 21 |
| 1.11 pav. „Bamtec“ armatūros įrengimas. ....  | 22 |
| 1.12 pav. a ir h santykio schema .....  | 23 |
| 1.13 pav. Perdangos skersinio pjūvio stiprumas priklausomai nuo a/d santykio.....     | 24 |
| 1.14 pav. Monolitinė zona prie kolonos, perdangoje su liktiniais klojiniais [15]..... | 25 |
| 1.15 pav. Pastato aukščio su ir be liktinių įdėklų perdangomis palyginimas [18].....  | 27 |
| 2.1 pav. Tipinis pagrindinis tikrinamasis perimetras aplink apkrovimo zonas [1] ..... | 32 |
| 2.2 pav. Perdangų su liktiniais įdėklais skaičiavimo modelis.....                     | 33 |
| 3.1 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....  | 37 |
| 3.2 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm).....                                       | 37 |
| 3.3 pav. QY skersinės jėgos diagrama (kN).....  | 38 |
| 3.4 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....  | 44 |
| 3.5 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm) .....                                      | 45 |
| 3.6 pav. Qy skersinių jėgų diagrama (kN) .....  | 45 |
| 3.7 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....  | 51 |
| 3.8 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm).....                                       | 51 |
| 3.9 pav. QY skersinių jėgų diagrama (kN) .....  | 51 |
| 3.10 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....   | 56 |
| 3.11 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm).....                                      | 56 |
| 3.12 pav. Qy skersinių jėgų diagrama (kN) .....                                       | 57 |
| 3.13 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....   | 62 |
| 3.14 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm).....                                      | 63 |
| 3.15 pav. QY skersinių jėgų diagrama (kN) .....                                       | 63 |



|  |    |
|--|----|
| 3.16 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.....  | 68 |
| 3.17 pav. My lenkimo momentų diagrama (kNm).....   | 68 |
| 3.18 pav. Qy skersinės jėgos diagrama (kN).....  | 68 |
| 3.19 pav. Savojo svorio palyginimas .....  | 74 |
| 3.20 pav. Sumažintas perdangų savasis svoris ir tūris, %.....                                  | 75 |
| 3.21 pav. Skersinio pjūvio stiprumo palyginimas, %.....  | 76 |
| 3.22 pav. Inercijos momentų ( $I_{eff}$ ) įlinkio (d) ir sumažinto savojo svorio palyginimas . | 77 |

## Lentelių sąrašas

|   |    |
|---|----|
| 1.1 lentelė. Liktinių įdėklų gamintojų techninės charakteristikos.....  | 17 |
| 1.2 lentelė. „Bubbledeck“ naudojami tipai ir pagrindinės charakteristikos [3].....                            | 18 |
| 1.3 lentelė. Beeplate denginių tipai [11].....  | 22 |
| 1.4 lentelė. „BubbleDeck“ ir monolitinės perdangos palyginimas.....   | 24 |
| 1.5 lentelė. Perdangos skersinio pjūvio stiprumas priklausomai nuo $a/h$ santykio .....                       | 24 |
| 2.1 lentelė. Skirtumų tarp pilnavidurių perdangos plokščių ir plokščių su liktiniais įdėklais suvestinė ..... | 36 |
| 3.1 lentelė. Perdangos apkrovų skaičiavimas .....   | 37 |
| 3.2 lentelė. Apskaičiuotų perdangos plokščių suvestinė. ....  | 75 |
| 3.3 lentelė. Lenkimo momentų (MED ir MRD) ir skersinio pjūvio stiprumo (VRd, c) suvestinė. ....               | 76 |
| 3.4 lentelė. Inercijos momentų ( $I_{eff}$ ) ir įlinkio ( $d$ ) suvestinė.....                                | 78 |

## **Įvadas**

Šio magistro baigiamojo projekto tema: Inovatyvių perdangų konstrukcijų sprendimų tyrimas.

Darniojo vystymosi koncepcija pagrįsta trimis komponentėmis – ekonomine ir socialine raida bei aplinkos apsauga. Darni statyba, realizuodama šią koncepciją, turėtų ieškoti būdų, kaip statyti statinius naudojant daugiau perdirbtų antrinių žaliavų ir mažiau energijos, mažinti aplinkos taršą ir atliekų kiekius bei kartu teikti tokią pačią ar net didesnę naudą statybos rezultatų vartotojams.

Pasirenkant medžiagas nagrinėjamai konstrukcijai turėtų būti teikiamas prioritetas naudojamų medžiagų kiekio mažinimo, statybinių medžiagų ir konstrukcijų pakartotinio panaudojimo galimybės, kurios galėtų būti gaunamos iš perdirbtų antrinių žaliavų ar kitų atliekų. Realizuojant darnios statybos koncepciją, pastarąjį dešimtmetį, projektuojant ir statant pastatus, pasaulyje plinta modernios, ekonomiškos, ekologiškos perdangų konstrukcijos, kuriose galima panaudoti perdirbtas antrines žaliavas ir įvairias atliekas. Tai inovatyvios šio šimtmečio prioritetinės konstrukcijos.

Remiantis aukščiau jau minėtomis komponentėmis šiame projekte bus analizuojamos inovatyvios perdangų sistemos su liktiniais įdėklais.

### **Darbo tikslas**

Atlikti inovatyvių perdangų konstrukcijų su liktiniais įdėklais sprendimų analizę.

### **Darbo uždaviniai**

- Išanalizuoti nagrinėjamų konstrukcijų projektavimo metodiką, nustatyti svarbiausius aspektus.
- Atlikti perdangų su liktiniais įdėklais skaičiavimus ir nustatyti kaip kinta naudojamų perdangų stiprumo ir standumo rodikliai kintant tarpatramio ilgiui.
- Remiantis gautais rezultatais, atlikti rezultatų analizę ir pateikti išvadas.
-

## **Mokslinis naujumas ir praktinė vertė**

Užsienio praktikoje, perdangų sistemos su liktiniais klojiniais yra vis labiau populiarėjantis ir dažnai sutinkamas sprendimas, tačiau Lietuvos rinkoje situacija nėra tokia gera ir aktualios mokslinės informacijos, tyrimų ar straipsnių šią temą trūksta. Taip pat Lietuvoje projektuojant ir statant pastatus mažai atsižvelgiama į naudojamų medžiagų kiekio mažinimą, vis dar vyrauja masyvios ir sunkios gelžbetonio konstrukcijos, mažai skiriama dėmesio antrinių žaliavų panaudojimui ir ekologiškos aplinkos didinimui, taip pat nėra ir tikslios šių konstrukcijų projektavimo metodikos. Atsakius į šio baigiamojo magistro projekto iškeltus uždavinius ir tikslus, tai bus dar vienas žingsnis link šios inovatyvios perdangų konstrukcijos populiarinimo ir vystymo Lietuvoje.

## 1. Literatūros analizė

Perdangos su liktiniais įdėklais - tai naujoviška perdangų sistema, kuri sumažina įprastinių monolitinių perdangų svorį neprarandant perdangų efektyvumo. Viena pagrindinių šios sistemos teigiamų savybių yra sumažinti betono kiekį viduriniuose perdangos tarpatriamiuose, taip sumažinant savąją konstrukcijos svorį iki 35%, tuo pačiu ir nuolatinę apkrovą, kas leidžia šias perdangas panaudoti iki 50% didesniuose tarpatriamiuose. Būtent šiam tikslui yra naudojami įdėklai, kurie yra pagamti iš perdirbto didelio tankio plastiko.

Taip pat kaip vienas iš šios perdangų sistemos išskirtinumas yra tai, kad šio tipo perdangos pagrindinę darbinę armatūrą turi dviem kryptimis, taipogi projektuojant šio tipo perdangas galima pritaikyti ir naudoti tas pačias skaičiavimo metodikas, kaip ir projektuojant standartinės viena arba dviem kryptimis dirbančias monolitines perdangas.

1990 metais Danijoje, Jorgen Breuning išrado sistemą kuri leistų sumažinti monolitinės perdangos svorį ir padidinti atstumą tarp atramų, ši sistema buvo užpatentuota ir pavadinta „BubbleDeck“ vardu. Vėliau atsirado ir daugiau panašių liktinių įdėklų tokių kaip: „Cobiax“, „U-Boot Beton“ ir „BeePlate“.

Užsienio praktikoje, įvairiuose Europos ir JAV universitetuose, taip pat ir liktinių įdėklų gamintojų yra pateikiami tiek teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatai, kurie apibūdina tam tikras šio sistemos savybes lyginant su klasikinėmis perdangų sistemomis.

Universitetai „The Eindhoven University of Technology“ ir „The Technical University of Delft“ esantys Olandijoje atliko eksperimentinius tyrimus su perdangos plokštėmis, kuriose buvo naudojami „Bubble Deck“ tipo liktiniai įdėklai. Tyrimų, kuriems buvo naudojamos 230mm 455mm storio perdangos, tikslas buvo nustatyti plokščių elgseną ir stiprumą lenkimo atveju lyginant su to paties storio pilnavidurėmis perdangomis. Tyrimų rezultatai parodė, kad tiek trumpalaikiu ir ilgalaikiu lenkimo atveju šios plokštės veikia taip pat kaip pilnavidurės perdangos. Univesritetas „The Technical University of Darmstadt“ taip pat atliko panašius ekperimentinius tyrimus susijusius su perdangų stiprumu ir standumu lenkimo atveju. (šių tyrimų rezultai analizuojami skyriuje 1.5. Mechaninės charakteristikos.)

C. Marais, 2009 metais atliko mokslinį tyrimą darbą „Design adjustment factors and the economical application of concrete flat slabs with internal spherical voids in South-Africa“, kuriame palygino skirtingas perdangų konstrukcijas su perdangomis, kuriose naudojami liktiniai įdėklai. Tyrimų rezultatai parodė, kad perdangos zonose, kuriose yra naudojami liktiniai įdėklai, standumas yra apie 10% mažesnis lyginant su to paties storio monolitine perdanga.[3][13]

Lietuvoje, Vilniaus Gedimino technikos universitete (VGTU), taip pat yra atliktas mokslinis eksperimentinis tyrimas su liktiniais įdėklais. Net 9 VGTU Statybos fakulteto mokslininkai vadovaujami prof. dr. Juozo Valivonio, sukūrė ir užpatentavo (patento nr. 6097, Lietuvos patentų biuras, 2014) liktinių įdėklų technologiją, kuri betono sąnaudas, pasak mokslininkų, gali sumažinti net iki 40%. [4][16]

Mokslininkų sukurtas liktinis įdėklas savo kubo forma panašus į „U-Boot Beton“ liktinius įdėklus, tačiau yra patobulintas, jame numatytos specialios briaunos, grioveliai ir fiksatoriai, užtikrinantys maksimalų įdėklo įsitvirtinimą betono masėje. [16]

Atsižvelgiant į tai, kad šio tyrimo rezultatai yra viešai neprienami ir neviešinami, toliau šiame darbe būtent šie liktiniai įdėklai neanalizuojami.

## **1.1. Naudojamos medžiagos**

Perdangų sistemą su liktiniais įdėklais sudaro trys pagrindinės medžiagos: armatūrinis plienas, tuščiaviduriai plastikiniai įdėklai ir betonas.

### **Betonas:**

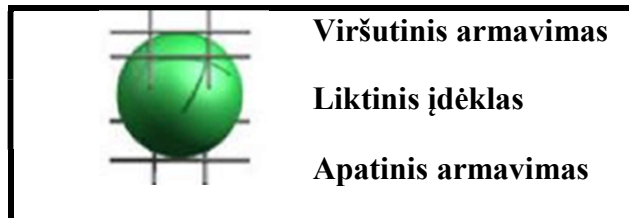
Naudojamas standartinių klasių betonas, su sąlyga, kad užpildų frakcijos dydis neviršys 20mm.

### **Armatūrinis plienas:**

Galima naudoti standartinių klasių armatūrinį plieną, taip pat gali būti naudojami jau iš anksto paruošti armatūrinių tinklų ruošiniai, pritaikyti būtent perdangų sistemoms su liktiniais įdėklais.

## Plastikas:

Tuščiaviduriai plastikiniai įdėklai yra pagaminti iš perdirbto didelio tankio 0,93-0,97 g/cm<sup>3</sup> (arba 970 kg/m<sup>3</sup>) polietileno (HDPE) ir proceso metu yra patalpinami tarp dviejų armatūrinių tinklų. [3]



1.1 pav. Liktinis įdėklas

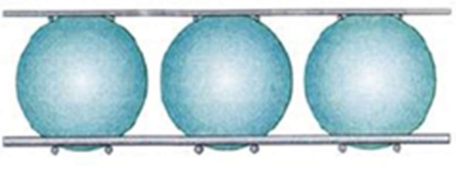
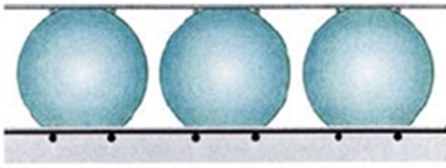
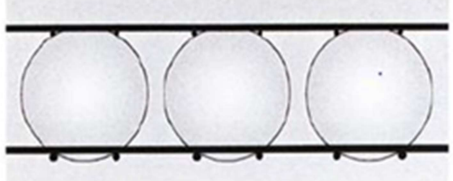
## 1.2. Panaudojimo sritys

Paprastai ši technologija su liktiniais įdėklais yra žinoma, kaip perdangų ar denginių sistema, tačiau ji taip pat, atskirais atvejais, gali būti pritaikyta ir pamatų įrengimui.

Šio tipo perdangų konstrukcijos gali būti realizuotos įvairios paskirties pastatuose: gyvenamuosiuose, visuomeniniuose, administraciniuose ir t.t.

## 1.3. Perdangų su liktiniais įdėklais konstrukcijų tipai

Atsižvelgiant į šių perdangų gamybos technologiją yra išskiriami trys skirtingi šio tipo konstrukcijų tipai:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Monolitinė</b>             |  |
| <b>Surenkama - monolitinė</b> |  |
| <b>Surenkama</b>              |  |

1.2 pav. Perdangų su liktiniais įdėklais konstrukcijų tipai [3]

- 1) **Monolitinė** – plastiko įdėklai yra paruošiami kartu su apatiniu ir viršutiniu tinklu į vieną karkasą, juos tarpusavyje sujungiant skersiniais strypynais, tarp kurių sudedami plastiko įdėklai. Naudojant šią technologiją betonas yra užpilamas dviem etapais: 1) užpilama tiek, kad vos būtų apsemti įdėklai (60-80mm.), tai yra atliekama tam, kad įdėklai nebūtų iškeliami į viršų; 2) užpilama likusi perdangos plokštės dalis.[3]
- 2) **Surenkama - monolitinė** – naudojant šią technologiją 2/3 visa sistema yra paruošiama gamykloje, t. y. iš apatinio betono sluoksnio ir armatūros tinklų su karkasais yra pagaminamas liktinis klojinys, kartu jau gamykloje sudedant plastikinius įdėklus. Vėliau belieka liktinius klojinius atsigabenti į statyb vietę ir sumontavus užpilti viršutinį betono sluoksnį. Naudojant šią sistemą nebereikia naudoti horizontaliųjų klojinių.
- 3) **Surenkama** – visa perdangos plokštė pagaminama gamykloje, belieka tik transportavimo ir montavimo darbai. Šis sprendimas, priešingai nei kiti, praranda inžinerinių sistemų panaudojimo galimybę perdangos plokštėje.[3]

#### 1.4. Pagrindiniai liktinių įdėklų gamintojai

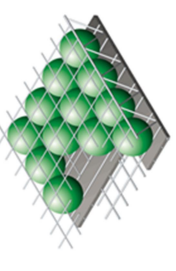



Taip susiklostė šios liktinių įdėklų gamybos rinka, kad liktinio įdėklo forma identifikuoja įdėklo gamintoją. Pasaulyje yra atlikta daugybė tyrimų ir eksperimentų ieškant optimaliausios liktinio įdėklo formos. Tyrimų tikslų būta įvairių: užtikrinti kuo didesnę skersinio pjūvio stiprumą, kuo labiau sumažinti konstrukcijos savąjį svorį, išspręsti ar optimizuoti sandėliavimo problemas. Būtent dėl šių kriterijų yra keletas skirtingų liktinių įdėklų formų. [14] [21]

Sekančioje lentelėje pateikiamos pagrindinės, populiariausios ir dažniausiai naudojamų liktinių įdėklų, gamintojų charakteristikos:

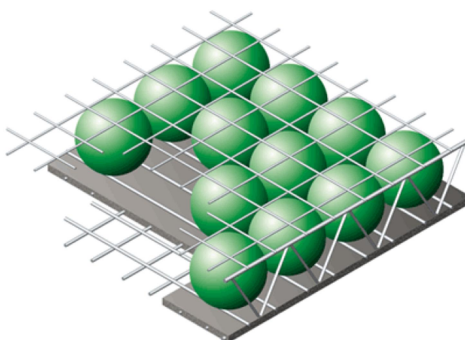
- Forma;
- Įdėklo aukštis (storis);
- Perdangos storis;
- Apkrovos sumažinimas;
- Galimas tarpatramis.



1.1 lentelė. Likitinių įdėklų gamintojų techninės charakteristikos

| Likitinių įdėklų gamintojų techninės charakteristikos |           |                      |  |                     |                       |  |                 |  |               |
|---|-----------|----------------------|--|---------------------|-----------------------|--|-----------------|--|---------------|
| Gamintojas  | Šalis     | Forma                | Konstrukcijos tipas                                  | Įdėklo aukštis [cm] | Perdangos storis [cm] | Redukuota apkrova [kN/m <sup>2</sup> ] | Tarpatramis (m) | Paveikslėlis   | Šaltiniai     |
| BubbleDeck  | Danija    | Sferinė              | Monolitinė<br>Surenkama /<br>monolitinė<br>Surenkama | 18-45               | 23-58                 | 1,9-4,8                                | <16,5           |   | [3], [6], [7] |
| Coblox  | Vokietija | Sferinė (Eco-Line)   | Monolitinė   | 27-45               | 40-60                 | 2,9-4,8                                | < 16            |   | [8], [9]      |
|   |           | Elipsinė (Slim-Line) | Surenkama /<br>monolitinė<br>Surenkama               | 10-26               | 20-40                 | 1,4-3,4                                |                 |  |               |
| U-Boot/Beton  | Italija   | Nupjautinė piramidė  | Monolitinė   | Viengubas: 10-28    | 20-68                 | 1,2-2,3                                | < 20            |   | [10]          |
|   |           |                      |  | Dvigubas: 20-56     |                       | 2,3-4,5                                |                 |  |               |
| Beeplate  | Vokietija | Išgaubta             | Monolitinė   | 20-38               | 34-52                 | 1,9-5,4                                | < 16,5          |  | [11], [12]    |

### 1.4.1. „BubbleDeck“



1.3 pav. „BubbleDeck“ perdanga su liktiniais įdėklais

„BubbleDeck“ tai yra vienas ir bene labiausiai žinomas liktinių įdėklų gamintojas pasaulyje.

Šio gamintojo gaminami liktiniai įdėklai skiriasi nuo kitų tuo, kad jie yra naudojami visiems trims perdangų su liktiniais įdėklais tipams (žr. 1.2 pav.)

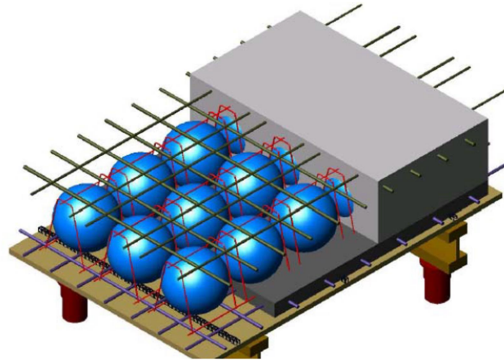
„BubbleDeck“ įdėklai gaminami taisyklingos sferinės formos primenančios kamuolių.

Standartiškai yra naudojami 5 skirtingi šio tipo perdangų storiai nuo 230mm iki 450 mm. (išskirtiniais atvejais gali būti gaminami BD510 ir BD600 tipo plokštės). Sąlyginės charakteristikos nurodytos 1.1 ir 1.2 lentelėse. [3]

1.2 lentelė. „Bubbledeck“ naudojami tipai ir pagrindinės charakteristikos [3]

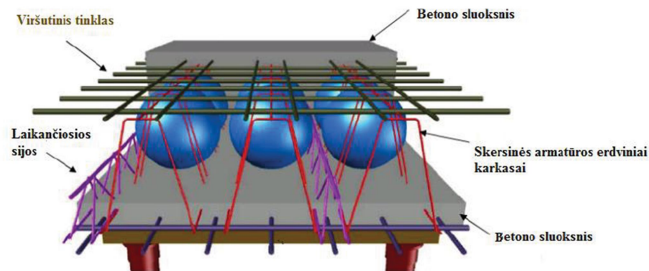
| Tipas  | Storis | Įdėklai | Tarpatramis | Svoris            | Betonas<br>statybvietėje       |
|--------|--------|---------|-------------|-------------------|--------------------------------|
|        | mm     | mm      | m           | kg/m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> |
| BD 230 | 230    | Ø180    | 7-10        | 370               | 0,10                           |
| BD 280 | 280    | Ø225    | 8-12        | 460               | 0,14                           |
| BD 340 | 340    | Ø270    | 9-14        | 550               | 0,18                           |
| BD 390 | 390    | Ø315    | 10-16       | 640               | 0,20                           |
| BD 450 | 450    | Ø360    | 11-18       | 730               | 0,25                           |

## 1.4.2. „Cobiax“



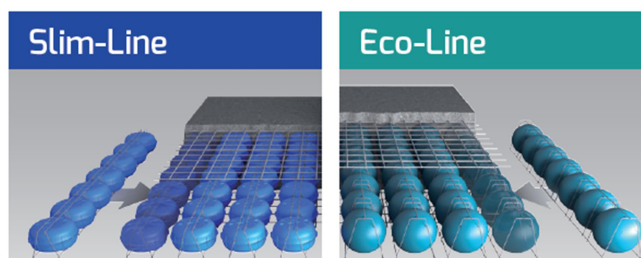
1.4 pav. „Cobiax“ perdanga su liktiniais įdėklais

Ši perdanga kaip ir „BubbleDeck“ susideda iš dviejų armatūros tinklų, kurie klojami apačioje ir viršuje, tuščiavidurių įdėklų ir betono, liejamo statybvietėje. Šio sprendimo pagrindas yra tinkamai iškloti Cobiax armatūros erdvinis karkasus, kurie užtikrina, kad betono liejimo metu, nebūtų iškilnoti liktiniais įdėklais. Likusi dalis užliejama viršutiniu betono sluoksniu. Perdangos konstrukcijos schema pateikta 1.5 pav.[5]



1.5 pav. „Cobiax“ perdangos schema [2]

„Cobiax“ gamintojas taip pat, priešingai nei „BubbleDeck“, siūlo ne tik sferinės, bet ir elipsės formos „Slim-Line“ įdėklus, kurie tam tikrais atvejais leidžia racionaliau išnaudoti perdangos storį. [18]



1.6 pav. „Slim-Line“ ir „Eco-Line“ Cobiax įdėklai

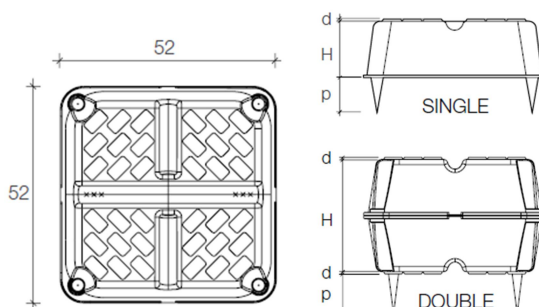
### 1.4.3. „U-Boot Beton“



1.7 pav. „U-Boot Beton“ liktinis įdėklas

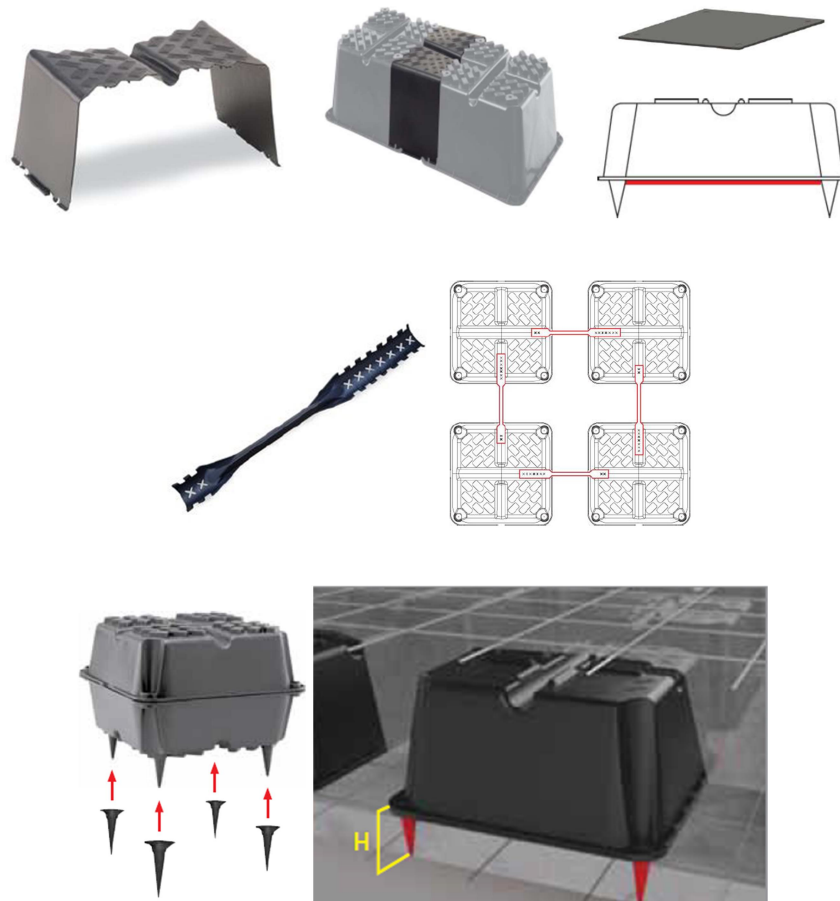
Pagrindinis įmonių grupės Daliform gaminamų „U-Boot Beton“ įdėklų privalumas yra jų forma.

Skirtingai nuo prieš tai minėtų gamintojų, „U-Boot Beton“ skiriasi ne tik savo nupjautinės piramidės forma, bet ir dėl to, kad šiuos įdėklus labai patogus sandėliuoti ir transportuoti, kadangi jie gali būti sumaunami vienas į kitą. Šio tipo įdėklai standartiškai gaminami kvadratinės 52cm formos, kurių aukštis gali būti nuo 10cm iki 28cm. Dėka ištobulintos šių įdėklų formos jie gali būti sujungiami tarpusavyje, taip sukuriant dvigubus uždarus įdėklus kurių aukštis kartu gali būti iki 56cm. [10]



1.8 pav. „U-Boot Beton“ viengubas „SINGLE“ ir dvigubas „DOUBLE“ įdėklai

„U-Boot Beton“ įdėklų gamintojai savo klientams gali pasiūlyti ne tik pačius įdėklus, bet ir kartu su jais naudojamus papildomus priedus, tokius kaip specialias įdėklų tarpusavio jungimo jungtis, viengubų įdėklų uždarymo plokštes, vadinamas „akles“, ar specialias įdėklų aukščio užtikrinimui skirtas kojeles. [10]



1.9 pav. „U-Boot Beton“ sistemos specialūs predai

#### 1.4.4. „BEEPLATE“

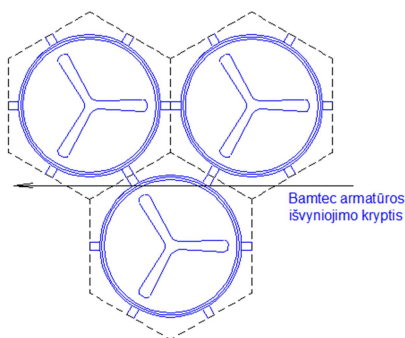


1.10 pav. „BEEPLATE“ liktiniai įdėklai [12]

Korinis denginys „BEEPLATE“. Pagrindinis skirtumas yra tas, jog čia tuštumos užtikrinamos ne uždarais stačiakampės ar sferinės formos įdėklais, o apverstais tuščiaviduriais gaubtais.

Pasirinkus tokia tuštumų užtikrinimo formą išsprendžiamos sandėliavimo problemos, kadangi gaubtai gali būti suneriami vienas į kitą, be to gaubtų viršuje yra išgręžtos skylės, leidžiančios pasišalinti nereikalingam oro pertekliui ir sumažinti galimą denginio išsikilnoįimą. „BEEPLATE“ denginio variantas leidžia ir efektyviau išnaudoti medžiagas - perdangoje su rutuliais betono sluoksnis vienodas tiek gniuždomoje, tiek tempiamoje perdangos pusėje, tuo tarpu denginyje su plastikiniais gaubtais - betono daugiau gniuždomoje denginio pusėje, o tempiamoje, kur darbą atlieka armatūra, mažiau. [11] [12]

„Beeplate“ gamintojas rekomenduoja naudoti „BAMTEC“ armatūros ruošiniais (žr 1.11 pav.). Įmonė „BAMTEC“ pasiūlė sprendimą, leidžiantį žymiai pagreitinti armatūros įrengimą monolitiniame denginyje. Armatūra įrengiama ne rišant rankiniu būdu armatūros strypus ar tinklus, bet išvyniojant iš anksto į ruloną suvyniotą atitinkamu žingsniu suvirintą armatūrą. Taip sutaupoma 80-90% laiko, skiriamo armatūros įrengimui, gerokai sumažinama darbų kaina bei statybos trukmė. Sistemoje naudojant „BEEPLATE“ ir „BAMTEC“ gaminius monolitinis denginys ne tik įgyja aukščiau išvardintus privalumus, bet ir tampa lengvai ir greitai įrengiamas.[11] [12]



1.11 pav. „Bamtec“ armatūros įrengimas.

1.3 lentelė. Beeplate denginių tipai [11]

| BEEPLATE tipas | Gaubto tipas    | Gaubto aukštis | Perdangos aukštis |
|----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| 34+            | HK-20           | 20cm           | >34cm             |
| 45+            | HK-31           | 31cm           | >45cm             |
| 52+            | HK-38           | 38cm           | >52cm             |
| 60+            | HK-38 ant HK-20 | 46cm           | >60cm             |

## 1.5. Mechaninės charakteristikos

Atsižvelgiant į tai, kad su „BubbleDeck“ liktinių įdėklų perdangų sistema yra atlikta daugiausia eksperimentinių tyrimų ir pateiktos jų ataskaitos bei moksliniai straipsniai, toliau šioje dalyje bus bus analizuojama „BubbleDeck“ perdangos sistema mechaniniu požiūriu.

Taip pat visų gamintojų įdėklai yra gaminami iš tos pačios medžiagos bei jų techninės charakteristikos yra panašios, todėl projektavimo principai taip pat yra panašūs.

### 1.5.1. Stiprumas lenkimo metu

Lenkimo metu, vidurinė plokštės skerspjūvio dalis, kurioje yra patalpinami liktiniai įdėklai neturi didelės įtakos lenkimo atveju, priešingai nei gniuždoma zona ir apatinė tempiama zona. [3] [6]

Tai reiškia, kad plokštės su liktiniais įdėklais neturi didelio skirtumo nuo pilnavidurės perdangos plokštės ir gali būti projektuojamos naudojantis tais pačiais principais jeigu yra išpildoma santykinio dydžio  $\mu_{ms}$  sąlyga:[6]

$$\mu_{ms} = \frac{M_u 1.96D}{f_c h^3} \leq 0.20 \quad (1.1)$$

(Santykinis dydį  $\mu_{ms}$  plačiau nagrinėjamas skyriuje 2. Konstrukcijų skaičiavimo metodika.)

„The Eindhoven University of Technology“ ir „The Technical University of Delft“ atliko eksperimentinius tyrimus su „BubbleDeck“ plokštėmis ir patvirtino, kad tiek trumpalaikiu ir ilgalaikiu lenkimo atveju šios plokštės veikia taip pat kaip pilnavidurės perdangos. [3]

„The Technical University of Darmstadt“ esantis Vokietijoje taip pat atliko eksperimentinius tyrimus susijusius su „BubbleDeck“ plokščių lenkiamuoju stiprumu ir standumu. [3]

1.4 lentelė. „BubbleDeck“ ir monolitinės perdangos palyginimas

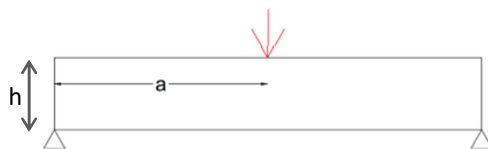
|               | “BubbleDeck” perdangų palyginimas su monolitine perdanga |                        |                             |
|---------------|--|------------------------|-----------------------------|
|               | Toks pat stiprumas (%)                                   | Toks pat standumas (%) | Toks pat betono kiekis (%)* |
| Stiprumas     | 100  | 105                    | 150                         |
| Standumas     | 87   | 100                    | 300                         |
| Betono kiekis | 66   | 69                     | 100                         |

\*su sąlyga, kad yra naudojamas tas pats armavimo kiekis

Plokščių su liktiniais įdėklais įlinkis neženkliai yra didesnis nei pilnavidurių perdangų dėl sumažinto perdangos standumo (apytiksliai apie 10% lyginant su tokio pat storio monolitine perdanga), bet įlinkį dalinai kompensuoja sumažėjęs savasis svoris.

### 1.5.2. Skersinio pjūvio stiprumas

„BubbleDeck“ skersinio pjūvio stiprumas buvo eksperimentiškai ištirtas taikant skirtingą  $a/h$  santykį (kur  $a$  – atstumas nuo atramos iki perdangos vidurio,  $h$  – perdangos storis)



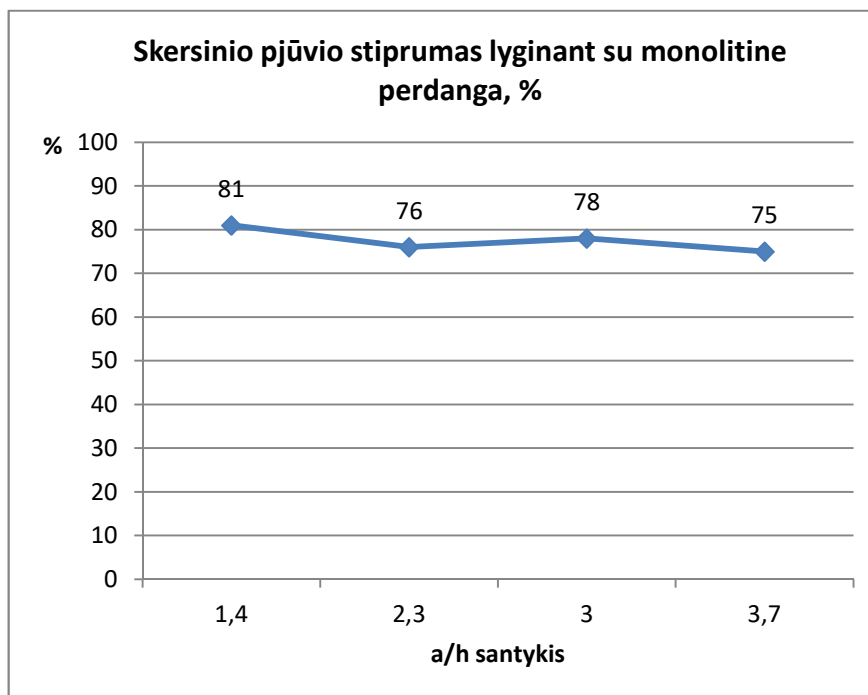
1.12 pav.  $a$  ir  $h$  santykio schema

1.5 lentelė. Perdangos skersinio pjūvio stiprumas priklausomai nuo  $a/h$  santykio

| Santykis $a/h$ | Skersinio pjūvio stiprumas lyginant su monolitine perdanga, % | Šaltiniai [3]  |
|----------------|---|--|
| 1,4            | 81  | Ataskaita: „AEC Consulting Engineers Ltd. / Professor M.P. Nielsen - The Technical University of Denmark”                  |
| 2,3            | 76  | Ataskaita: „Optimising of Concrete Constructions" / John Munk & Tomas Moerk - The Engineering School in Horsens / Denmark” |



|     |    |   |
|-----|----|---|
| 3   | 78 | Ataskaita: „A+U Research Institute / Professor leinmann - the Eindhoven University of Technology / the Netherlands” |
| 3,7 | 75 | Ataskaita: „Darmstadt Concrete” (Annual journal on Concrete and Concrete Structures)”                               |

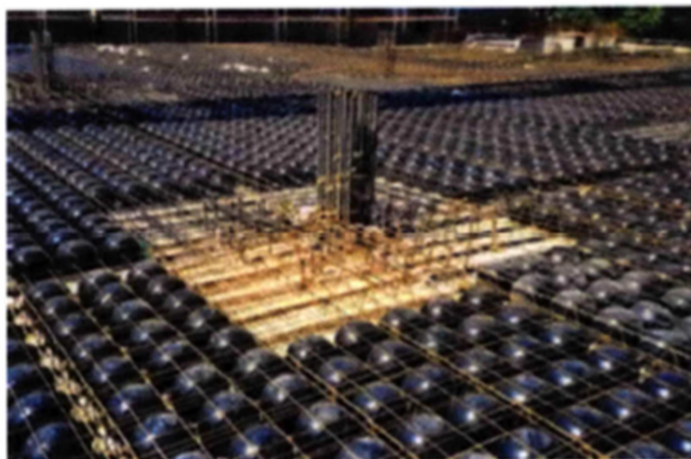


1.13pav. Perdangos skersinio pjūvio stiprumas priklausomai nuo a/d santykio

Šie rezultatai parodo sumažintą skersinio pjūvio stiprumą % lyginant su monolitine perdanga.

Skersinio stiprumo skaičiavimams, dėl susilpninto skerspjūvio, yra naudojamas koeficientas 0,6 lyginant su analogiško aukščio monolitinę perdangą.

Atsižvelgiant į prie kolonų ar atraminių sienų esančias didžiausias skersines jėgas, naudojamų įdėklų perdangos plotas sudaro ~2/3 viso perdangos ploto. Remiantis „BubbleDeck-UK“ rekomendacijomis, preliminariems skaičiavimams galima įdėklus vertinti tik tose zonose, kur skersinė jėga siekia iki 60% maksimalios veikiančios skersinės jėgos tame pačiame tarpatramyje.



*1.14 pav. Monolitinė zona prie kolonos, perdangoje su liktiniais įdėklais [15]*

### **1.5.3. Pleišėjimas**

Atsižvelgiant į atliktus tyrimus su „BubbleDeck“ 230mm ir 450mm įdėklais, pleišėjimo modelis panašus kaip ir pilnavidurių perdangos plokščių. Procedūra skirta užtikrinti tinkamumo ribinį būvį dėl plyšių atsiradimo, yra tokia pat kaip ir su tradicinėmis perdangų plokštėmis, įskaitant ir plyšio plotį. [3]

### **1.5.4. Ugniaatsparumas**

Perdangos plokščių ugniaatsparumas priklauso nuo plieno sugebėjimo išlaikyti stiprumą, kai temperatūra stipriai pakyla, pagrindinis parametras įtakojantis atsparumą ugniai, yra apsauginis betono sluoksnis, todėl šio tipo perdangoms kaip ir standartinėms galima taikyti tuos pačius ugniaatsparumo užtikrinimo reikalavimus. Pati liktiniams įdėklams naudojama medžiaga (HDPE) gali išlaikyti temperatūrą iki 120 °C. Remiantis nagrinėtais šaltiniais šio tipo perdangos gali būti projektuojamas, parenkant atitinkamą apsauginį betono sluoksnį, 60-180 min. ugniaatsparumui. [3][6]

## **1.6. Privalumai ir trūkumai**

### **1.6.1. Privalumai**

Visi žemiau išvardinti privalumai yra susisteminti atsižvelgiant į visus nagrinėjamus liktinių įdėklų gamintojus.

### **Savo svorio sumažinimas**

Lyginant su pilnavidurėmis tokio pat storio perdangomis, naudojant įdėklus galima sumažinti iki 35 % betono kiekio. Plastiko įdėklai leidžia sumažinti perdangos savąjį svorį pavojingiausioje zonoje t. y. tarpatramyje. Atsižvelgiant į sumažėjusias nuolatinės apkrovas sumažėja poreikis ir armavimui.

Dėka sąlyginai mažo tokio tipo perdangų svorio, medžiagų sutaupymo kaštai pasireiškia ne tik lyginant perdangos plokštes, tačiau tai turi įtakos ir sumažėjusiems kolonų, sijų ar rygelių bei pamatų skerspjūviams.

### **Didesni ir nestandartiniai tarpatramiai**

Perdangose, kuriose yra panaudojama liktinių įdėklų sistema, viena iš esminių savybių, kaip ir savojo svorio sumažinimas, yra įvardijama galimybė perdengti iki 50% didesnius tarpatramius, nei besijų monolitinių perdangų. Taip pat, naudojant šias perdangų sistemas, galima išpildyti nestandartinius architektūrinius sprendinius, kadangi šioms perdangoms nereikia sijų šios perdangos gali būti montuojamos tiesiai ant kolonų ar atraminių sienų.

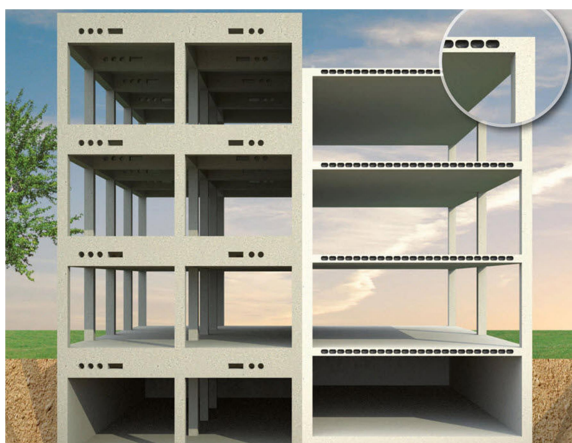
### **Atramų skaičiaus sumažinimas**

Naudojant šias perdangų sistemas, ženkliai yra sumažinama apkrova tenkanti kolonomis ir kitoms atramų konstrukcijoms, tai įtakoja tiek jų skaičių, tiek skerspjūvio matmenis, tiek jų armavimą.

### **Optimizuojamas pastato aukštis**

Perdangos su liktiniais įdėklais paprastai yra plonesnės nei tradicinės monolitinės perdangos, taip pat joms nereikia įrengti pagrindinių ar šalutinių sijų, kurių aukštis paprastai būna didesnis nei pačios perdangos.

Butent dėl mažesnio tarpaukštinių perdangų storio, gali būti sumažinamas bendras pastato aukštis.[8][18]



*1.15 pav. Pastato aukščio su ir be liktinių įdėklų perdangomis palyginimas [18]*

### **Trumpesnis statybos laikas**

Atsižvelgiant į tai, kad perdangos su liktiniais įdėklais gali būti surenkamos, tai žymiai minimizuoja statybos laiką. Ryšium su tuo, kad perdangos įrengiamos ganėtinai greitai, galima greičiau ir anksčiau pradėti montuoti sekančias konstrukcijas t. y. sienas, kolonas ir pan. Taip pat reikia paminėti ir tai, kad dėl perdangoje esančio mažesnio betono kiekio, betono sukietėjimo laikas taip pat trumpėja.

### **Kaina**

Atsižvelgiant į tai, kad naudojant šią technologiją yra sumažinamas naudojamų medžiagų poreikis ir ženkliai paspartinama statyba, tai leidžia taip pat sutaupyti ir kaštų. Ryšium su tuo, kad šios perdangos yra sąlyginai lengvos, tai leidžia pasiekti mažesnius transportavimo ir kranų darbo kaštus. Darbo sąnaudos taip pat mažėja, nes yra naudojami liktiniai klojiniai ir nebereikia papildomų klojinių įranginėti statybvietėje.

The Eindhoven University of Technology (the Netherlands) atliko ekonominę tyrimą su „BubbleDeck“ perdangomis Town Hall pastatui, esančiam Hagos mieste (The Hague), Olandijoje. „BubbleDeck“ perdangos buvo lyginamos su monolitinėmis perdangomis tris kartus, keičiant tarpatramių dydžius ir perdangos storius. Buvo nustatyta, kad „BubbleDeck“ perdanga yra 5 – 16% pigesnė nei monolitinė perdanga. [3][16]

AEC Consulting Engineers Ltd. / Professor M.P. Nielsen - The Technical University of Denmark taip pat atliko ekonominę tyrimą su „BubbleDeck“ perdangomis. Tyrimo rezultatai parodė, kad naudojant tą patį betono ir armavimo kiekį, su „BubbleDeck“ perdanga galima

pasiiekti iki 40% didesnį tarpatramį ir 15% pigesnę perdangos kainą lyginant su monolitine perdanga. Sekanti tyrimo dalis atskleidė, kad siekiant išlaikyti vienodą tarpatramį galima sumažinti reikalingo betono kiekį iki 33% ir iki 30% sumažinti perdangos kainą. [3][16]

### **Ryšys su darniąja statyba ir ekologija**

Liktinių įdėklų panaudojimas perdangose naudingas ne tik statybos pramonei, bet ir padeda spręsti ekologines problemas. [4][3]

Lyginant su monolitinėmis tokio pat storio perdangomis liktinių įdėklų technologija leidžia sutaupyti iki 35% sunaudojamo betono kiekio, tuo pačiu sumažinamas, gėlo vandens, smėlio ir skaldos kiekis, taip pat mažinamas šių medžiagų transportavimo poreikis. [4][3][16][17]

Norint pagaminti toną cemento į aplinką yra išskiriama apie 500-800 kg. anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) ir kitų teršalų, o gaminant betono mišinį dar papildomai yra išskiriama arti 300 kg CO<sub>2</sub>, nuo kiekvieno kubo betono. [3][16][17]

Žinant, kad net 5 proc. išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio visame pasaulyje atsiranda dėl cemento gamybos, naudojant liktinius įdėklus galima sumažinti CO<sub>2</sub> emisiją ir taip prisidėti prie gamtos išsaugojimo. [3][16]

Taip pat svarbu tai, kad tuščiaviduriai plastikiniai įdėklai yra pagamti iš perdirbtų antrinių plastiko žaliavų. Taip susidaro galimybė nereikalingą plastiką panaudoti dar kartą ir mažinti jo kiekius nugulančius savartyuose. Panaudojus vieną kilogramą perdirbto plastiko įdėklams, reikiamo betono kiekis sumažėja iki 100kg.

### **1.6.2. Trūkumai**

Nors ir yra daug privalumų dėl kurių būtų galima ir reikėtų naudoti perdangas su liktiniais įdėklais, taip pat yra keletas neigiamų šios sistemos savybių į kurias būtina atsižvelgti. Perdangas su liktiniais įdėklais racionaliausia naudoti dideliuose tarpatramiuose, kai yra maži arba siauri tarpatramiai, geriau naudoti monolitines arba gelžbetonines kiaurymėtas perdangas.[17].

Kai sąlyginai didelio tarpatramio perdangas veikia didelės apkrovos, sudėtinga užtikrinti praspaudimo sąlygą, todėl gali tekti įrengti kapitelius arba didinti perdangos storį.[17]

Perdangų su liktiniais įdėklais įlinkis gali būti didesnis dėl veikiančių didelių kintamų apkrovų ir sumažinto perdangos lenkiamojo standžio.

Sumažintas perdangos savasis svoris ir nuolatinė apkrova gali iš dalies kompensuoti sumažintą standumą ir sumažinti įlinkį, bet kai kintama apkrova išlieka didelė, sumažinto svorio įtaka įlinkiui nebėra tokia reikšminga ir įlinkis gali būti vistiek didelis. Tai reiškia, kad perdangos su liktiniais įdėklais nėra tinkamos vietose kur vyrauja didelės naudojimo apkrovos.

Taip pat svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad kol kas nėra galimybės liktinių įdėklų įsigyti Lietuvoje, todėl juos reikėtų importuoti iš užsienio, kas įtakotų nemaža kaštų padidėjimą.

### **1.7. Pirmojo skyriaus išvados**

- Šiame skyriuje buvo analizuojami ir aprašomi keturi pagrindiniai liktinių įdėklų perdangoms gamintojai: „BubbleDeck“, „Cobix“, „U-Boot Beton“ ir „BEEPLATE“.
- Perdangų sistemą su liktiniais įdėklais sudaro trys pagrindinės medžiagos: armatūrinis plienas, tuščiaviduriai plastikiniai įdėklai ir betonas.
- Nustatytos pagrindinės teigiamos savybės: savo svorio ir betono sumažinimas iki 35%, nestandartiniai ir didesni tarpatramiai iki 50 %, kaina gali būti mažesnė iki 30% lyginant su monolitinėmis perdangomis, liktiniams įdėklams gaminti naudojamas perdirbtas plastikas bei dėl reikiamo mažesnio betono ir cemento kiekio sumažinamas išmetamas CO<sub>2</sub> kiekis.
- Liktiniai įdėklai perdangos skrespjūvyje turi neigiamą įtaką perdangos stiprumui ir standumui.

## 2. Konstrukcijų skaičiavimo metodika

Plastikinius idėklus gaminančios įmonės pateikia savo paruoštas skaičiavimo metodikas ar projektavimo rekomendacijas, tačiau šio tipo perdangų sistemos gali būti projektuojamos panašiai kaip ir įprastinių perdangos plokščių, naudojant vietinius STR ar EC2 projektavimo reikalavimus, tai priklauso nuo to ar yra tenkinama santykinio dyžio  $\mu_{ms}$  sąlyga:

$$\mu_{ms} = \frac{M_u 1.96D}{f_{ck} h^3} \leq 0.20 \quad (2.1)$$

Čia;

D - idėklo diametras (m);

h - perdangos storis (m);

$M_u$  – maksimalus lenkimo momentas (MNm);

$f_{ck}$  – charakteristinis betono gniuždomasis stipris (MPa).

Perdangos su liktiniais idėklais gali būti projektuojamos kaip dviatramės arba kaip visu perimetru atremta plokštė, kurios darbinė armatūra dirba dviem kryptimis. Atsižvelgiant į „BubbleDeck®-UK“ rekomendacijas, šios sistemos projektavimas turi tenkinti ilgio (L) ir efektyvaus storio (d) santykį (L/d):

$L/d \leq 30$  paprastoms dviatramėms plokštėms;

$L/d \leq 41$  nekarpytoms, daugiaatramėms plokštėms;

$L/d \leq 13$  konsolinėms plokštėms.

Pastaba: aukščiau pateikti ilgio (L) ir efektyvaus storio (d) santykiai (L/d) buvo nustatyti įvertinant 4,5 kPa naudojimo ir 1,5 kPa nuolatinės apkrovas, todėl esant skirtingoms apkrovoms šis santykis gali kisti.

Esant dideliems tarpatramiams, galima panaudoti įtempto gelžbetonio technologija, kas gali santykį L/d padidinti daugiau kaip 30%. [3]

Perdangos plokštės, kuriose yra naudojami liktiniai idėklai susideda iš dviejų zonų t. y. zona su liktiniais idėklais ir be idėklų. Zonos be idėklų yra aplink kolonas ar atramines konstrukcijas, kur vyrauja didžiausios skersinės jėgos, o likusiose vietose naudojami idėklai.

## 2.1. Skersinio pjūvio stiprumo nustatymas

Istrižojo pjūvio skaičiuotinė laikomoji galia  $V_{Rd,c}$  apskaičiuojama pagal EC2 1-1, 6.2.2 skyriaus reikalavimus ir pritaikoma elementams, kuriems nebūtina skaičiuotinė skersinė armatūra. [1][6]

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \quad (2.2)$$

kur minimali reikšmė:

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (2.3)$$

čia:

$f_{ck}$  charakteristinis gniuždomasis betono stipris (Mpa);

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad (2.4)$$

kur  $d$  - efektyvusis skerspjūvio aukštis (mm)

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d} \leq 0.02 \quad (2.5)$$

$A_{s1}$  – tempiamosios armatūros, skerspjūvio plotas;

$b_w$  – mažiausiasis skerspjūvio plotis tempiamojoje zonoje [mm];

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \quad (2.6)$$

čia  $\gamma_c$  dalinis betono koeficientas

$$v_{\min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad (2.7)$$



$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \quad (2.8)$$

gniuždomieji betono įtempiai dėl ašinės jėgos ar išankstinio įtempimo (Mpa).

$A_c$  – betono skerspjūvio plotas [mm<sup>2</sup>];

$N_{Ed}$  – ašinė jėga skerspjūvyje (N).

Pritaikant redukcijos koeficientą (0,5 – 0,6 priklausomai nuo gamintojo) randamas įstrižojo pjūvio stiprumas kurį gali atlaikyti plokštė su liktiniais įdėklais plokštės skerspjūvyje:

$$V_{Rd,c \text{ voided}} = V_{Rd,c} \cdot \text{redukcijos koeficientas} \quad (2.9)$$

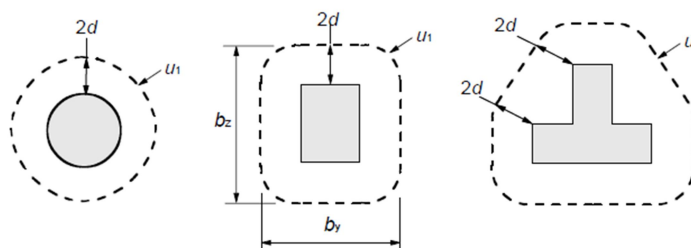
Visi ruožai kur  $V_{Rd,c \text{ voided}} > V_{Ed}$  ( $V_{Ed}$  didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga veikianti plokštę) gali būti su liktiniais įdėklais, o ruožai kur  $V_{Rd,c \text{ voided}} < V_{Ed}$ , privalo likti pilnaviduriai.

## 2.2. Praspaudimo sąlygos skaičiavimas

Taip pat, turi būti patikrinta praspaudimo sąlygą perdangos plokštės ir kolonos sujungimo vietoje.

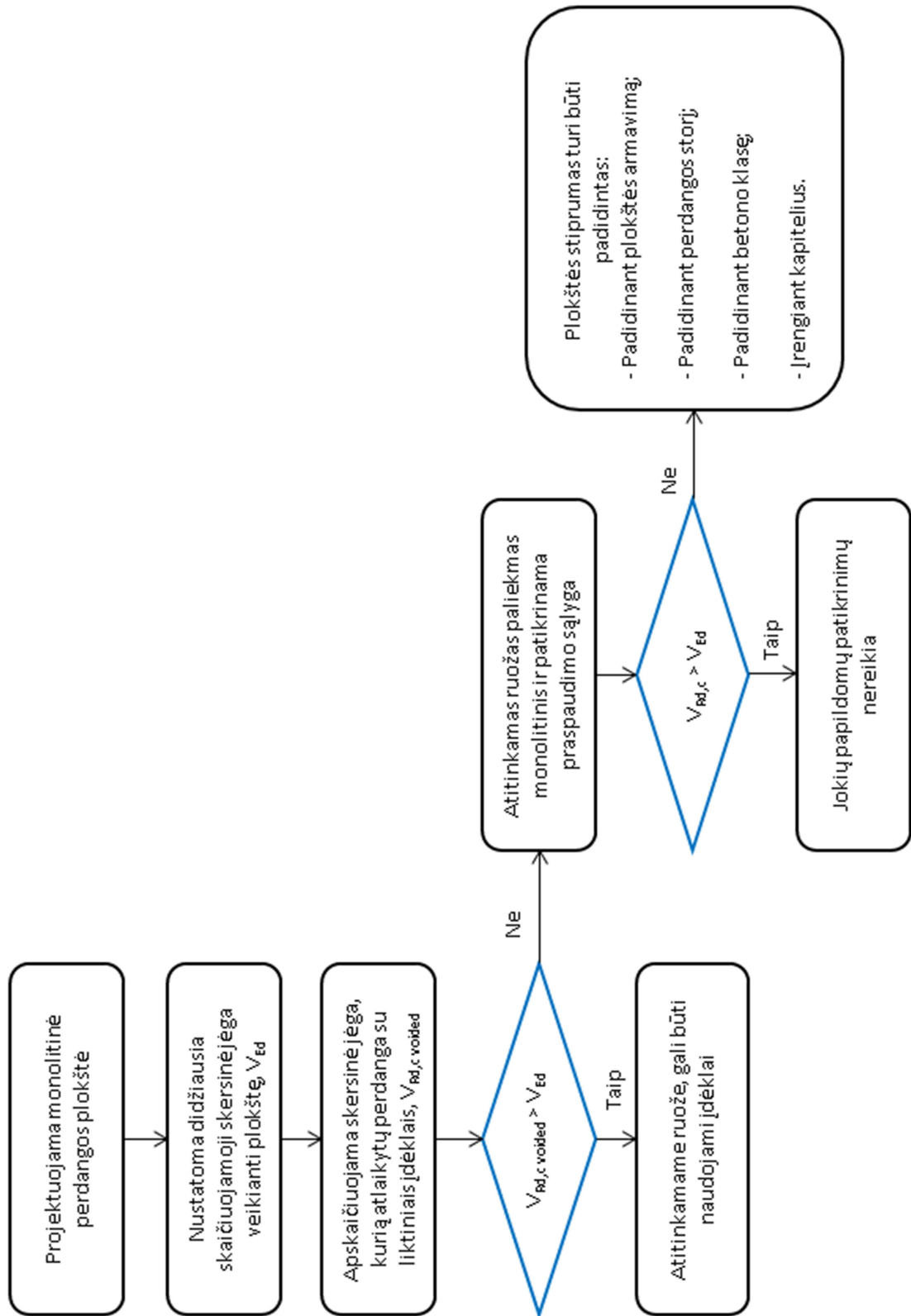
$$V_{Rd,c} = u_1 d_c \frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \geq V_{Ed}; \quad (2.10)$$

čia:  $V_{Rd,c}$  – betono atlaikoma įstrižo pjūvio skersinė jėga,  $u_1$  – praspaudžiamos perdangos plokštės dalies perimetras,  $\gamma_c$  – dalinis betono koeficientas,  $\rho_l$  – išilginio armavimo koeficientas,  $f_{ck}$  – charakteristinis gniuždomasis betono stipris (Mpa),  $V_{Ed}$  – skaičiuotinė skersinė jėga.



2.1 pav. Tipinis pagrindinis tikrinamasis perimetras aplink apkrovimo zonas [1]

### 2.3. Perdangų su liktiniais įdėklais skaičiavimo modelis



2.2 pav. Perdangų su liktiniais įdėklais skaičiavimo modelis

## 2.4. Perdangos su liktiniais įdėklais parametrų nustatymas

Sumažintas standis dėl liktinio įdėklo, gali būti apskaičiuotas nustatant pilnavidurės perdangos plokštės inercijos momentą  $I_s$  ir liktinio įdėklo inercijos momentą  $I_c$ . Pavyzdžiui, naudojant sferinės formos įdėklus:

$$I_s = \frac{bh^3}{12} \quad (2.11)$$

Kur  $b$  – nagrinėjamo skerspjūvio plotis, o  $h$  – bendras perdangos storis.

$$I_c = \frac{\pi y^4}{4} \quad (2.12)$$

Čia  $y$  – įdėklo ploto spindulys

Skerspjūvio su įdėklais standumo mažinimo koeficientas yra lygus  $\frac{I_s - I_c}{I_s}$ . Darant prielaidą, kad liktiniai įdėklai siekia 90% plokštės standumo, mažinimo koeficientas bus lygus:

$$\frac{I_s - I_c}{I_s} * 0.9 + 1 * 0.1 \quad (2.13)$$

Šis skaičiavimas gali būti naudojamas, siekiant patikrinti ar gamintojų pateiktos koeficientų reikšmės teisingos. Tačiau skaičiavimas gali būti daug sudėtingesnis norint apskaičiuoti kitokios formos įdėklus, pavyzdžiui nupjautinės piramidės. Praktikoje atliekant skaičiavimus yra naudojamos gamintojų rekomenduojamos reikšmės, kurios yra tarp 0.8 ir 0.9. [3][6]

Sumažinto sąvojo svorio skaičiavimas gali būti atliekamas iš perdangos viso tūrio išminusavus tūrį kurį sudaro įdėklais. Gamintojai taip pat nurodo sumažinto sąvojo svorio reikšmes priklausomai nuo naudojamų įdėklų parametrų.

2.1 lentelė. Skirtumų tarp pilnavidurių perdangos plokščių ir plokščių su liktiniais įdėklais suvestinė

| Skirtumų tarp monolitinių perdangos plokščių ir plokščių su liktiniais įdėklais suvestinė |                              |   |
|---|------------------------------|---|
|   | Pilnavidurė perdanga         | Perdanga su liktiniais įdėklais   |
| Skersinio pjūvio stiprumas  | $V_{Rd,c}$                   | $V_{Rd,c \text{ voided}} = V_{Rd,c} \cdot \text{redukcijos koeficientas}$<br>Redukcijos koeficientas ~0,5-0,6 |
| Lenkiamasis standis   | EI                           | $EI_{\text{voided}} = EI \cdot \text{redukcijos koeficientas}$<br>Redukcijos koeficientas ~0,8-0,9            |
| Savasis svoris  | $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ | Priklausomai nuo naudojamų liktinių įdėklų parametrų iki 35% mažesnis nei pilnavidurės perdangos              |

## 2.5 Antrojo skyriaus išvados

- Perdangų sistemos su liktiniais įdėklais, gali būti projektuojamos panašiai kaip ir įprastinių perdangos plokščių, naudojant STR ar EC2 projektavimo reikalavimus.
- Esant dideliems tarpatramiams, galima panaudoti įtempto gelžbetonio technologija, kas leidžia perdengti apie 30% didesnius tarpatramius ir sumažinti įlinkį.
- Svarbu patikrinti praspaudimo sąlygą perdangos plokštės ir kolonos sujungimo vietoje, zonos kur nėra išpildoma praspaudimo sąlyga, su skerspjūvyje esančiais liktiniais įdėklais, turi likti monolitinės.
- Būtina įvertinti sumažėjusį perdangos standumą, galima naudoti gamintojų pateiktas standumo mažinimo koeficiento reikšmes, kurios yra tarp 0.8 ir 0.9, arba apskaičiuoti skerspjūvio parametrus įvertinant redukuotą skerspjūvį.

### 3. Konstrukcijų skaičiavimas

Šiame skyriuje bus projektuojamos ir palyginamos trijų skirtingų ilgių dviatramės monolitnės perdangos ir tokio pat storio perdangų plokštės su „BubbleDeck“ liktiniais įdėklais. Pasirenkami 9, 12 ir 15m tarpatramiai.

#### 3.1. Apkrovų skaičiavimas

##### Nuolatinių apkrovų skaičiavimas

3.1 lentelė. Perdangos apkrovų skaičiavimas

| Eil. Nr. | Elemento pavadinimas  | Nuolatinė apkrova $g_k$ , kN/m <sup>2</sup> | Dalinis patikimumo koeficientas $\gamma_G$ | Skaičiuotinė apkrova, $g_d$ , kN/m <sup>2</sup> |
|----------|---|---|--|---|
| 1        | Grindų keraminės plytelės<br>d=13mm ( $1m^3 \rightarrow 1600kg$ ) | 0,21  | 1,35                                       | 0,284   |
| 2        | Cementinis skiedinys<br>d=20mm ( $1m^3 \rightarrow 1900kg$ )      | 0,38  | 1,35                                       | 0,513   |
|          |   | $\Sigma=0,59$                               |  | $\Sigma=0,797$                                  |

##### Kintamų apkrovų skaičiavimas

Naudojimo apkrova

Perdangos bus projektuojamos įstaigų patalpoms, kurios priklauso B kategorijai, tai naudojimo apkrova:

$$q_k=2\text{kN/m}^2$$

Skaičiuotinis naudojimo apkrovos derinys į kvadratinį metrą:

$$q_d=1,3 \cdot 2=2,6 \text{ kN/m}^2$$

## 3.2. 9m. perdangos plokštė

### 3.2.1. Monolitinė perdanga

Preliminarus 9m ilgio monolitinės plokštės storis:

$$h_{pl,9} = \left( \frac{1}{35} \div \frac{1}{32} \right) \cdot l = \left( \frac{1}{35} \div \frac{1}{32} \right) \cdot 9 = 0,257 \div 0,281m \quad (3.2.1)$$

Pasirenku -  $h_{pl,9} = 280mm$ .

Bus projektuojama dviatramė 280x1000x9000mm perdangos plokštė.

Monolitinės perdangos tūris:

$$V_{pl,9} = h \cdot b \cdot l = 0,28 \cdot 1 \cdot 9 = 2,52m^3; \quad (3.2.2)$$

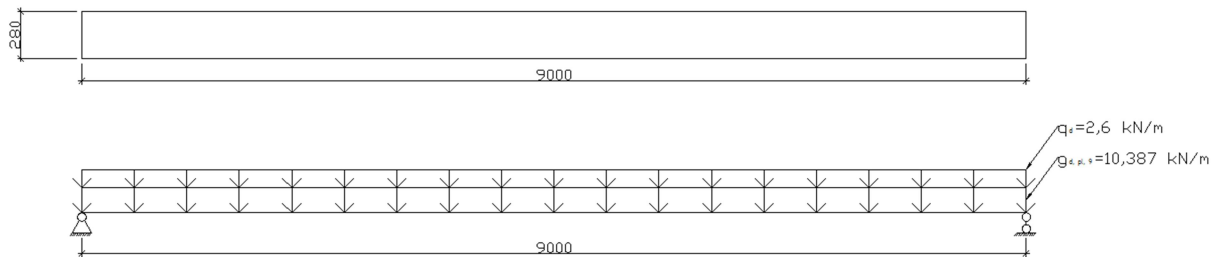
#### 3.2.1.1. Įrašų skaičiavimas

$$g_{k,pl,9} = 2,52 \cdot 2500 \cdot 10 = 63000N = 63kN; \quad (3.2.3)$$

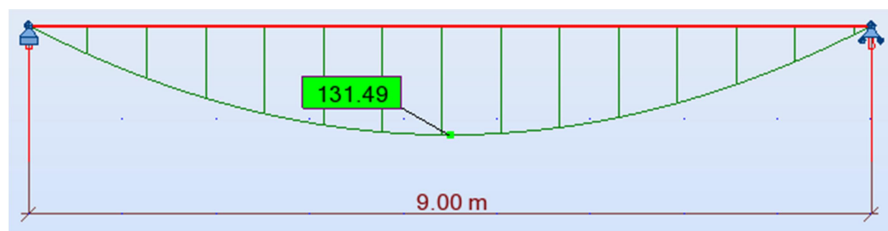
$$g_{k,pl,9} = 63 / 9m = 7kN/m; \quad (3.2.4)$$

$$g_{d,pl,9} = g_{k,pl,9} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 7 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 1 = 10,387 \text{ kN/m}. \quad (3.2.5)$$

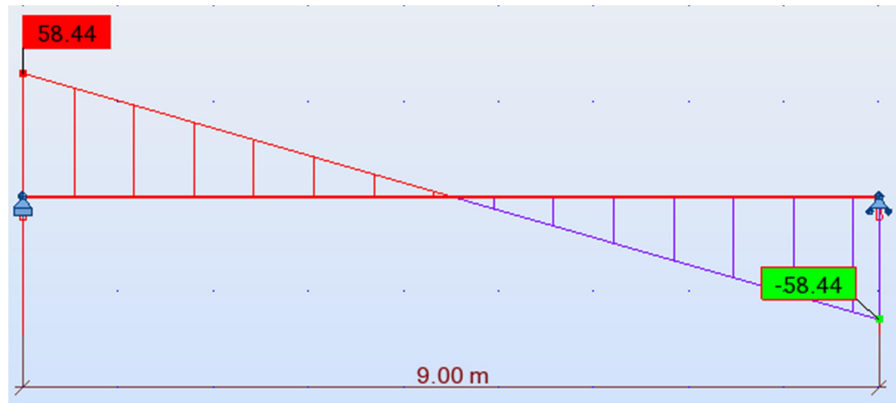
$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m}. \quad (3.2.6)$$



3.1 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.



3.2 pav.  $M_y$  lenkimo momentų diagrama (kNm)



3.3 pav.  $Q_Y$  skersinės jėgos diagrama (kN)

### 3.2.1.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

Perdangos elementams numatytas sunkusis C 30/37 klasės betonas.

Skaičiuojamosios šių medžiagų charakteristikos:

C 30/37 klasės betonui:

$$f_{c,d} = \frac{0,9 \cdot 30}{1,5} = 18 \text{ (MPa)} \quad (3.2.7)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05}}{1,5} \cdot 0,9 = \frac{2,0}{1,5} \cdot 0,9 = 1,2 \text{ MPa} \quad (3.2.8)$$

Apskaičiuojamas minimalus plokštės darbo aukštis:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{M_{\max}}{\mu_{Eds,lim} f_{cd} b}} = \sqrt{\frac{131,49}{0,295 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1}} = 0,157 \text{ m.} \quad (3.2.9)$$

$$\mu_{Eds,lim} = \eta \lambda \zeta_{lim} (1 - 0,5 \lambda \zeta_{lim}) = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,45 (1 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,45) = 0,295 \quad (3.2.10)$$

čia:  $\lambda=0,8$  ir  $\eta=1$ , nes  $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$ .

Kadangi plokštėje yra neįvertinamas momentų persiskirstymas dydis  $\mu_{Eds,lim}$  apskaičiuojamas, pasirenkant  $\zeta_{lim} \leq 0,45$ , kai betono klasė C50/60 ir mažesnė. [1][23]

Kai apsauginis betono sluoksnis nemažesnis kaip 25 mm (XC1, REI90) ir armatūros  $\emptyset$  ~20 mm, plokštės darbo aukštis:

$$d = h_{pl,9} - a = 0,28 - 0,35 = 24,5\text{cm} > d_{min} = 0,156\text{m} \quad (3.2.11)$$

Imamas  $a=25+(20/2)=35\text{mm}$ ,

Tada:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{131,49 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 245^2} = 0,12 < \mu_{Eds,lim} = 0,295 \quad (3.2.12)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}}\right) = \frac{1}{0,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,12}{1}}\right) = 0,16 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (3.2.13)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 39,2}{450} = 1254\text{mm}^2 = 12,54\text{cm}^2 \quad (3.2.14)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,16 \cdot 245 = 39,2\text{mm}$ . (3.2.15)

Pasirenkama tempiamai zonai y kryptimi S500 klasės 5 $\emptyset$ 18 strypus, kurių  $A_s=12,72\text{cm}^2$

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštėms leistiną kiekį. Minimalaus armavimo koeficientas -  $\rho_{min} = 0,0013$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_i d \geq \rho_{min} b_i d \quad (3.2.16)$$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 245 = 369\text{mm}^2 \geq 0,0013 \cdot 1000 \cdot 245 = 318,5\text{mm}^2 \quad (3.2.17)$$

Čia:  $f_{ctm}$  = vidutinis betono tempiaasis stipris. C16/20 klasės betonui  $f_{ctm}=2,9$  Mpa.

$$A_s = 1272\text{mm}^2 \geq A_{s,min} = 369\text{mm}^2 \quad (3.2.18)$$

Sąlyga tenkinama.

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui



$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 1272}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m} \quad (3.2.17)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,04 \cdot (0,245 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,04) = 131,9 \text{ kNm} \quad (3.2.18)$$

$$M_{RD} = 131,9 \text{ kNm} > M_{ED} = 131,49 \text{ kNm} \quad (3.2.19)$$

### 3.2.1.3 Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,28 + 6,06 \times 0,001272 = 0,2876 \text{ m}^2 \quad (3.2.20)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.2.21)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,28^2 + 6,06 \times 0,001272 \times 0,035 = 0,039 \text{ m}^3 \quad (3.2.22)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,039}{0,2876} = 0,1356 \text{ m} \quad (3.2.23)$$

Redukuoto skerspjūvio inercijos momentas:

$$I_{eff} = \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \quad (3.2.24)$$

$$I_{eff} = \frac{1 \cdot 0,28^3}{12} + 1 \cdot 0,28 \cdot \left( \frac{0,28}{2} - 0,1356 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,001272 (0,1356 - 0,035)^2 = 0,0019 \text{ m}^4 \quad (3.2.25)$$

### 3.2.1.4. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 58,44kN.$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.2.26)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (3.2.27)$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{245}} = 1,9 < 2,0 \quad (3.2.28)$$

pasirenkama  $k = 1,9$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1272}{1000 \cdot 245} = 0,0052 \leq 0,02 \quad (3.2.29)$$

$\sigma_{cp} = 0, k_1 = 0,15$ ;

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.2.30)$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,9^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,5 \quad (3.2.31)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5$   $f_{ck} = 30MPa$ .

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [0,12 \cdot 1,9 (100 \cdot 0,0052 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 245 = 139,57kN \geq \\ &\geq (0,5 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 245 = 122,5kN \end{aligned} \quad (3.2.32)$$

$$V_{Ed} = 58,44kN < V_{Rd,c} = 139,57kN \quad (3.2.33)$$

Plokštės skersinio pjūvio laikomoji galia atlaiko veikiančią išorinę skersinę jėgą.

### 3.2.1.5. Įlinkio skaičiavimas

Gelžbetoninių elementų įlinkių tikrinimas atliekamas pagal sąlygą:

$$dlim \geq d$$

Čia:

$d$  – gelžbetoninio elemento įlinkis nuo išorinės apkrovos poveikio;

$dlim$  – gelžbetoninio elemento leistino ribinio įlinkio reikšmė.

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (3.2.34)$$

čia:

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$  – kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies), apskaičiuojamas pagal kintamąją apkrovą, padaugintą iš 0,3;

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$  – kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių, neįvertinant išankstinio apspaudimo;

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{r}\right)_1 &= \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff}}; \\ \left(\frac{1}{r}\right)_2 &= \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.2.35)$$

čia:

$M$  – kintamųjų ir tariamai nuolatinių poveikių (tinkamumo skaičiuotinės reikšmės) sukeltas momentas apie ekvivalentinio skerspjūvio centro ašį, statmeną lenkimo momento veikimo plokštumai; [24]

$\varphi_{c1}$  – koeficientas, kuriuo įvertinama betono trumpalaikio valkšnumo įtaka, imamas lygus 0,85 sunkiojo betono elementams. [24]

$\varphi_{c2}$  – koeficientas, kuriuo įvertinama betono ilgalaikio valkšnumo įtaka, imamas lygus 2,0. [24]

$I_{eff}$  – efektyvusis skerspjūvio inercijos momentas ( $m^4$ )

$E_{cm}$  – kirstinis betono tamprumo modulis, C30/37 klasės betonui  $E_{cm} = 33$  GPa.

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$  – kreivis dėl elemento išlinkio nuo išankstinio apspaudimo jėgos esant trumpalaikiai skaičiuotinei situacijai.

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$  – kreivis dėl elemento išlinkio, kurį sukelia betono susitraukimas ir valkšnumas nuo išankstinio apspaudimo jėgos.

Elementų be išankstinio įtempimo kreiviai  $\left(\frac{1}{r}\right)_3$  ir  $\left(\frac{1}{r}\right)_4$  laikytini lygūs nuliui.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff}} = \frac{7,9 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0019} = 1,48 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.36)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 9^2}{8} = 7,9 kNm \quad (3.2.37)$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff}} = \frac{105,17 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0019} = 39,46 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.38)$$

$$M_{Eqd} = \frac{g_{d,pl,9} \cdot l^2}{8} = \frac{10,387 \cdot 9^2}{8} = 105,17 kNm \quad (3.2.39)$$

Suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (1,48 + 39,46) \cdot 10^{-4} = 40,94 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.40)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 29,88 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 9^2 = 0,0345 m = 34,5 mm. \quad (3.2.41)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{9}{250} = 0,036 m = 36 mm. \quad (3.2.42)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis neviršija ribinio  $d = 34,5 mm < d_{lim} = 36 mm$ .

### 3.2.2. „BubbleDeck“ perdanga

Bus projektuojama dviatramė BD 280, 9m ilgio tipo perdangos plokštė su sekančiais parametrais:

naudojamų įdėklų diametras – Ø 225mm;

maksimalus įdėklų skaičius į 1 m<sup>2</sup> – 16vnt/m<sup>2</sup>.

Maksimaliai galimas įdėklų skaičius plokštėje = 9x16=144vnt.

Įdėklų tūris:

$$V_{void} = \left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \cdot 144 = \left(\frac{4}{3}\pi 0,1125^3\right) \cdot 144 = 0,00596 \cdot 144 = 0,858m^3; \quad (3.2.43)$$

Pilnavidurės perdangos tūris:

$$V_{pl,9} = h \cdot b \cdot l = 0,28 \cdot 1 \cdot 9 = 2,52m^3; \quad (3.2.44)$$

Perdangos tūris su įdėklais:

$$V_{void,9} = V_{pl,9} - V_{void} = 2,52 - 0,858 = 1,662m^3; \quad (3.2.45)$$

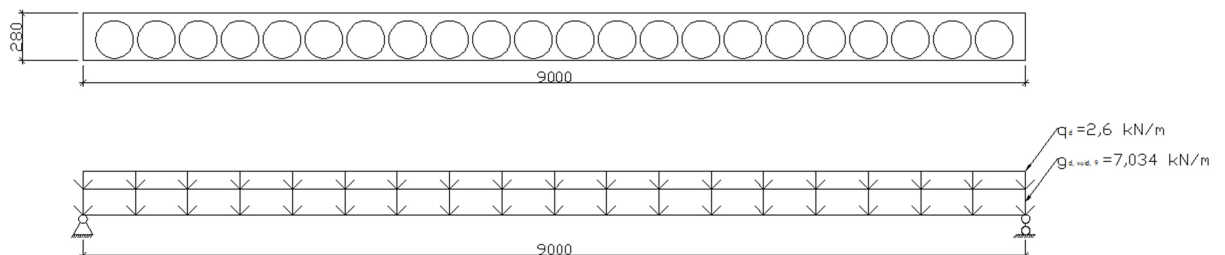
#### 3.2.2.1. Įrašų skaičiavimas

$$g_{k, void, 9} = 1,662 \cdot 2500 \cdot 10 = 41550N = 41,55 \text{ kN}; \quad (3.2.46)$$

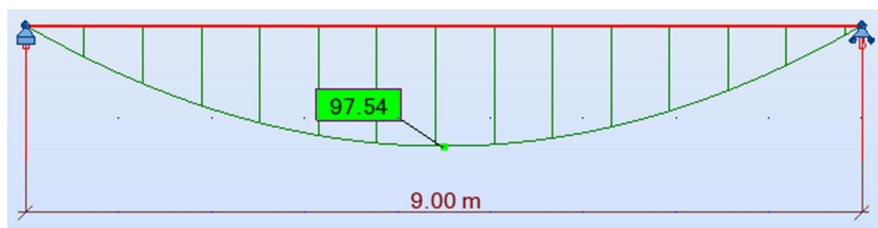
$$g_{k, void, 9} = 41,55 / 9m = 4,62 \text{ kN/m}; \quad (3.2.47)$$

$$g_{d, void, 9} = g_{k, void, 9} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 4,62 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 3 = 7,034 \text{ kN/m}. \quad (3.2.48)$$

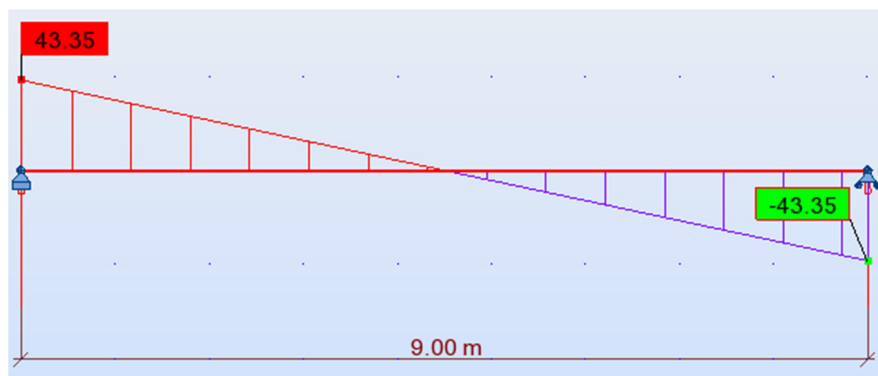
$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m}.$$



3.4 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.



3.5 pav.  $M_y$  lenkimo momentų diagrama (kNm)



3.6 pav.  $Q_y$  skersinių jėgų diagrama (kN)

Patikrinamas santykinis parametras  $\mu_{ms}$  :

$$\mu_{ms} = \frac{M_u \cdot 1.96D}{f_{ck} h^3} = \frac{0.0974 \cdot 1.96 \cdot 0.225}{30 \cdot 0.28^3} = 0.06 \leq 0.20 \quad (3.2.49)$$

Sąlyga tenkinama.

Čia;

D - įdėklo diametras (m)

h - perdangos storis (m)

$M_u$  – maksimalus lenkimo momentas (MNm)

$f_{ck}$  – charakteristinis betono gniuždomasis stipris;

### 3.2.2.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{97.54 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 245^2} = 0.09 < \mu_{Eds,lim} = 0.295 \quad (3.2.50)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}}\right) = \frac{1}{0.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0.09}{1}}\right) = 0.118 < \xi_{lim} = 0.45 \quad (3.2.51)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 28,9}{450} = 956,8 \text{ mm}^2 = 9,57 \text{ cm}^2 \quad (3.2.52)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,118 \cdot 245 = 28,9 \text{ mm}.$  (3.2.53)

Atsižvelgiant į tai, kad į 1m pločio plokštėje telpa ~4vnt. įdėklų ir į tai, kad armatūros tinklas yra naudojamas sudėti įdėklams, reikėtų reikiamą armatūros skerspjūvį padalinti į mažiausiai 4x2=8vnt. strypų. Pasirenku tempiamai zonai yy kryptimi 8Ø8 ir 4Ø14, kurių  $A_s = 4,02 + 6,16 = 10,18 \text{ cm}^2$ .

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštėms leistiną kiekį:

$$A_s = 1018 \text{ mm}^2 \geq A_{s,\min} = 369 \text{ mm}^2 \quad (3.2.54)$$

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 1018}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 31,81 \text{ mm} = 0,03181 \text{ m} \quad (3.2.55)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,03181 \cdot (0,245 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,03181) = 106,39 \text{ kNm} \quad (3.2.56)$$

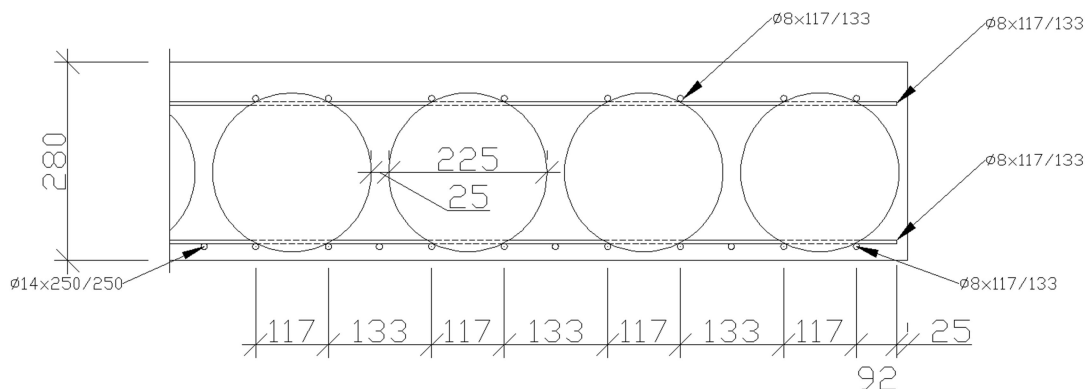
$$M_{RD} = 106,39 \text{ kNm} > M_{ED} = 97,54 \text{ kNm} \quad (3.2.57)$$

Skersine kryptimi strypai į tinklą jungiami analogišku žingsniu kaip ir išilginiai yy kryptimi tempiami strypai. Šiuo atveju skersiniai strypai skirti užtikrinti ne tik lenkimo jėgą xx kryptimi, tačiau taip pat ir teisingai sudėti įdėklus į gaminį, čia armatūra dedama konstrukciškai sutvirtinti įdėklus. Parenkama xx kryptimi Ø8 strypus.

### 3.2.2.3. Pagrindinės viršutinės armatūros parinkimas

Atsižvelgiant, kad plokštė skaičiuojama kaip dviatramė, čia neveikia neigiamas lenkimo momentas, todėl armatūra dedama konstrukciškai, pagal kiaurymės reikalingas sudėti įdėklams.

Armatūrinis tinklas parenkamas analogiškas kaip ir apatinėje zonoje, tik čia pakanka naudoti Ø8 strypus.



3.6 pav. Armatūros išdėstymo schema

### 3.2.2.4 Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Remiantis „BubbleDeck“ projektavimo reikalavimais perdangos plokščių, su skerspjūvyje esančiais liktiniais įdėklais, inercijos momentas gali būti apskaičiuojamas kaip paprasto stačiakampio elemento pritaikant redukcijos koeficientą, kuris BD280 tipo ploštei lygus 0,87.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,28 + 6,06 \times 0,001018 = 0,286 m^2 \quad (3.2.58)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.2.59)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,28^2 + 6,06 \times 0,001018 \times 0,035 = 0,0394 m^3 \quad (3.2.60)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,0394}{0,286} = 0,1378 m \quad (3.2.61)$$

$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \right] \quad (3.2.62)$$



$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{1 \cdot 0,28^3}{12} + 1 \cdot 0,28 \cdot \left( \frac{0,28}{2} - 0,1378 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,001018 (0,1378 - 0,035)^2 \right] = 0,0017 \text{ m}^4 \quad (3.2.63)$$

### 3.2.2.5. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 43,35 \text{ kN}.$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.2.64)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{245}} = 1,9 < 2,0 \quad (3.2.65)$$

pasirenkama  $k = 1,9$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1018}{1000 \cdot 245} = 0,0041 \leq 0,02 \quad (3.2.66)$$

$$\sigma_{cp} = 0, \quad k_1 = 0,15;$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.2.67)$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,9^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,5 \quad (3.2.68)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5$   $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ .

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,9 (100 \cdot 0,0041 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 245 = 128,94 \text{ kN} \geq \quad (3.2.69)$$

$$\geq (0,5 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 245 = 122,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 43,35 < V_{Rd,c} = 128,94 \text{ kN}$$

Remiantis „BubbleDeck-UK“ projektavimo reikalavimas plastikinius įdėklus galima dėti tik kur skersinės jėgos neviršija 60% perdangos stiprumo, todėl skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė skerspjūvyje su įdėklais:

$$V_{Rd,c,void} = V_{Rd,c} \cdot 0,6 = 128,94 \cdot 0,6 = 77,36kN \quad (3.2.70)$$

$$V_{Ed} = 43,35kN < V_{Rd,c(burb)} = 77,36kN \quad (3.2.71)$$

Plokštės su skerspjūvyje esančiais įdėklais stiprumo pakanka atlaikyti didžiausią skaičiuojamąją skersinę jėgą.

### 3.2.2.6 Įlinkio skaičiavimas

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (3.2.72)$$

kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{7,9 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0017} = 1,66 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.73)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 9^2}{8} = 7,9kNm \quad (3.2.74)$$

kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{71,22 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0017} = 29,87 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.75)$$

$$M_{Egd} = \frac{g_{d,void,9} \cdot l^2}{8} = \frac{7,034 \cdot 9^2}{8} = 71,22kNm \quad (3.2.76)$$

Suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (1,66 + 29,87) \cdot 10^{-4} = 31,53 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.2.77)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 31,53 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 9^2 = 0,0266m = 26,6mm. \quad (3.2.78)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{9}{250} = 0,036m = 36mm. \quad (3.2.79)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis neviršija ribinio  $d = 26,6 \text{ mm} < d_{lim} = 36 \text{ mm}$ .

### 3.3. 12m. perdangos plokštė

#### 3.3.1. Monolitinė perdanga

Preliminarus 12m ilgio monolitinės plokštės storis:

$$h_{pl,9} = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{32}\right) \cdot l = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{32}\right) \cdot 12 = 0,34 \div 0,37m \quad (3.3.1)$$

Pasirenku -  $h_{pl,9} = 340mm$ .

Bus projektuojama dviatramė 340x1000x12000mm perdangos plokštė.

Monolitinės perdangos tūris:

$$V_{pl,12} = h \cdot b \cdot l = 0,34 \cdot 1 \cdot 12 = 4,08m^3; \quad (3.3.2)$$

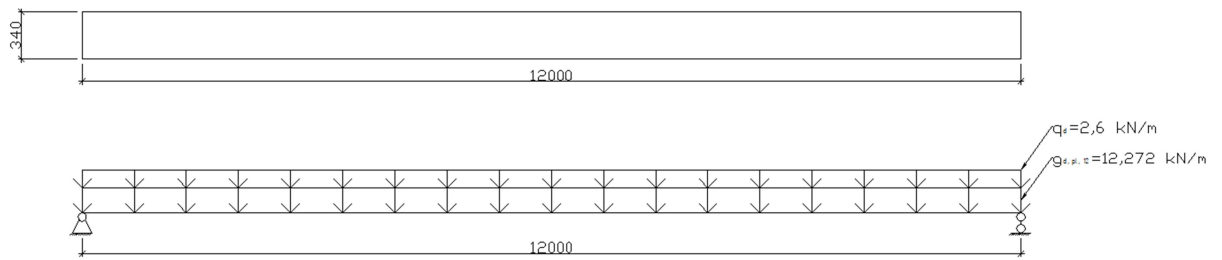
#### 3.3.1.1. Įrašų skaičiavimas

$$g_{k,pl,12} = 4,08 \cdot 2500 \cdot 10 = 102000N = 102kN; \quad (3.3.3)$$

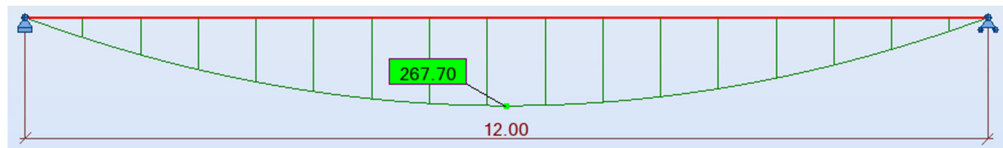
$$g_{k,pl,12} = 102 / 12m = 8,5kN/m; \quad (3.3.4)$$

$$g_{d,pl,12} = g_{k,pl,9} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 8,5 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 1 = 12,272 \text{ kN/m}. \quad (3.3.5)$$

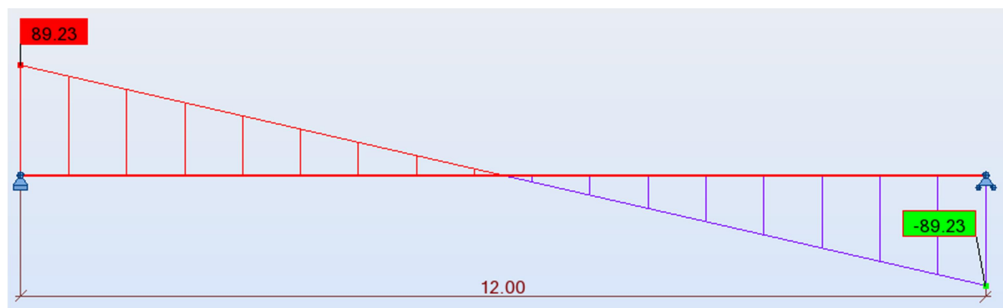
$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m}. \quad (3.3.6)$$



3.7 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.



3.8 pav.  $M_y$  lenkimo momentų diagrama (kNm)



3.9 pav.  $Q_y$  skersinių jėgų diagrama (kN)

### 3.3.1.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

Apskaičiuojamas minimalus plokštės darbo aukštis:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{M_{\max}}{\mu_{Eds,lim} f_{cd} b}} = \sqrt{\frac{267,7}{0,295 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1}} = 0,225m. \quad (3.3.7)$$

$$\mu_{Eds,lim} = \eta \lambda \zeta_{lim} (1 - 0,5 \lambda \zeta_{lim}) = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,45 (1 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,45) = 0,295 \quad (3.3.8)$$

čia:  $\lambda=0,8$  ir  $\eta=1$ , nes  $f_{ck} < 50\text{MPa}$ .

Kadangi plokštėje yra neįvertinamas momentų persiskirstymas dydis  $\mu_{Eds,lim}$  apskaičiuojamas, pasirenkant  $\zeta_{lim} \leq 0,45$ , kai betono klasė C50/60 ir mažesnė. [1][23]

Kai apsauginis betono sluoksnis nemažesnis kaip 25 mm (XC1, REI90) ir armatūros  $\varnothing \sim 20$  mm, plokštės darbo aukštis:

$$d = h_{pl,9} - a = 0,34 - 0,035 = 0,305\text{cm} > d_{min} = 0,225\text{m} \quad (3.3.9)$$

Imamas  $a=25+(20/2)=35\text{mm}$ ,

Tada:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{267,7 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 305^2} = 0,16 < \mu_{Eds,lim} = 0,295 \quad (3.3.10)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}}\right) = \frac{1}{0,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,16}{1}}\right) = 0,22 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (3.3.11)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 67,1}{450} = 2147\text{mm}^2 = 21,47\text{cm}^2 \quad (3.3.12)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,22 \cdot 305 = 67,1\text{mm}.$  (3.3.13)

Pasirenkami tempiamai zonai yy kryptimi 7Ø20 strypus, kurių  $A_s=21,99\text{cm}^2$

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštėms leistiną kiekį. Minimalaus armavimo koeficientas -  $\rho_{min} = 0,0013$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq \rho_{min} b_t d \quad (3.3.14)$$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 305 = 460\text{mm}^2 \geq 0,0013 \cdot 1000 \cdot 305 = 396,5\text{mm}^2 \quad (3.3.15)$$

Čia:  $f_{ctm}$  = vidutinis betono tempiausias stipris. C30/37 klasės betonui  $f_{ctm}=2,9$  Mpa.

$$A_s = 2199\text{mm}^2 \geq A_{s,min} = 460\text{mm}^2$$

Sąlyga tenkinama.

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 2199}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 68,72\text{mm} = 0,06872\text{m} \quad (3.3.16)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,06872 \cdot (0,305 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,06872) = 274,62 \text{ kNm} \quad (3.3.17)$$

$$M_{RD} = 274,62 \text{ kNm} > M_{ED} = 267,7 \text{ kNm} \quad (3.3.18)$$

### 3.3.1.3 Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,34 + 6,06 \times 0,002199 = 0,3533 \text{ m}^2 \quad (3.3.19)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.3.20)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,34^2 + 6,06 \times 0,002199 \times 0,035 = 0,0583 \text{ m}^3 \quad (3.3.21)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,0583}{0,3533} = 0,165 \text{ m} \quad (3.3.22)$$

Redukuoto skerspjūvio inercijos momentas:

$$I_{eff} = \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \quad (3.3.23)$$

$$I_{eff} = \frac{1 \cdot 0,34^3}{12} + 1 \cdot 0,34 \cdot \left( \frac{0,34}{2} - 0,165 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,002199 (0,165 - 0,035)^2 = 0,00351 \text{ m}^4 \quad (3.3.24)$$

### 3.3.1.4. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 89,23 \text{ kN.}$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.3.25)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (3.3.26)$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{305}} = 1,8 < 2,0 \quad (3.3.27)$$

pasirenkama  $k = 1,8$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2199}{1000 \cdot 305} = 0,0072 \leq 0,02 \quad (3.3.28)$$

$\sigma_{cp} = 0$ ,  $k_1 = 0,15$ ;

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.3.29)$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,8^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,46 \quad (3.3.30)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5$   $f_{ck} = 16 \text{MPa}$ .

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,8 (100 \cdot 0,0072 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 305 = 183,47 \text{kN} \geq \quad (3.3.31)$$

$$\geq (0,46 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 305 = 140,3 \text{kN}$$

$$V_{Ed} = 89,23 \text{kN} < V_{Rd,c} = 183,47 \text{kN} \quad (3.3.32)$$

Plokštės skersinio pjūvio laikomoji galia atlaiko veikiančią išorinę skersinę jėgą.

### 3.3.1.5 Įlinkio skaičiavimas

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left( \frac{1}{r} \right)_1 + \left( \frac{1}{r} \right)_2 - \left( \frac{1}{r} \right)_3 - \left( \frac{1}{r} \right)_4 \quad (3.3.33)$$

kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{14,04 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,00351} = 1,42 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.3.34)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 12^2}{8} = 14,04 kNm \quad (3.3.35)$$

kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{220,9 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,00351} = 44,9 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.3.36)$$

$$M_{Egd} = \frac{g_{d,pl,12} \cdot l^2}{8} = \frac{12,272 \cdot 12^2}{8} = 220,9 kNm \quad (3.3.36)$$

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (1,42 + 44,9) \cdot 10^{-4} = 46,32 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.3.37)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 46,32 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12^2 = 0,069 m = 69 mm. \quad (3.3.38)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{12}{250} = 0,048 m = 48 mm. \quad (3.3.39)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis viršija ribinį  $d = 69 mm > d_{lim} = 48 mm.$ , todėl turėtų būti didinamas perdangos storis, betono klasė, armavimas arba panaudota įtempto gelžbetonio technologija.

### 3.3.2. „BubbleDeck“ perdanga

Bus projektuojama dviatramė BD 340, 12m ilgio tipo perdangos plokštė su sekančiais parametrais:

naudojamų įdėklų diametras – Ø 270mm;

maksimalus įdėklų skaičius į  $1 m^2$  – 11,11 vnt/ $m^2$ .

Maksimaliai galimas įdėklų skaičius plokštėje =  $12 \times 11,11 = 133,32$  vnt.



Īdēkļu tūris:

$$V_{void} = \left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \cdot 432 = \left(\frac{4}{3}\pi 0,13^3\right) \cdot 133,32 = 0,0092 \cdot 133,32 = 1,226m^3 \quad (3.3.40)$$

Pilnavidurēs perdangos tūris:

$$V_{pl,12} = h \cdot b \cdot l = 0,34 \cdot 1 \cdot 12 = 4,08m^3; \quad (3.3.41)$$

Perdangos tūris su Īdēklais:

$$V_{void,12} = V_{pl,12} - V_{void} = 4,08 - 1,226 = 2,854m^3; \quad (3.3.42)$$

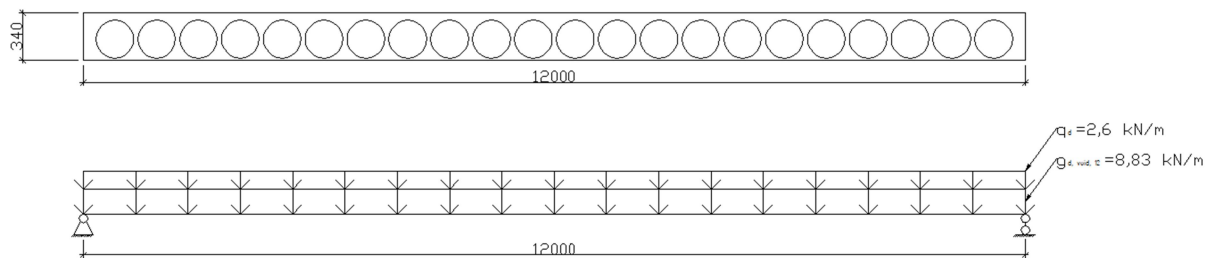
### 3.3.2.1. Īražu skaiĉiavimas

$$g_{k, void, 12} = 2,854 \cdot 2500 \cdot 10 = 71350N = 71,35 \text{ kN}; \quad (3.3.43)$$

$$g_{k, void, 12} = 71,35 / 12 = 5,95 \text{ kN/m}; \quad (3.3.44)$$

$$g_{d, void, 12} = g_{k, void, 9} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 5,95 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 1 = 8,83 \text{ kN/m}. \quad (3.3.45)$$

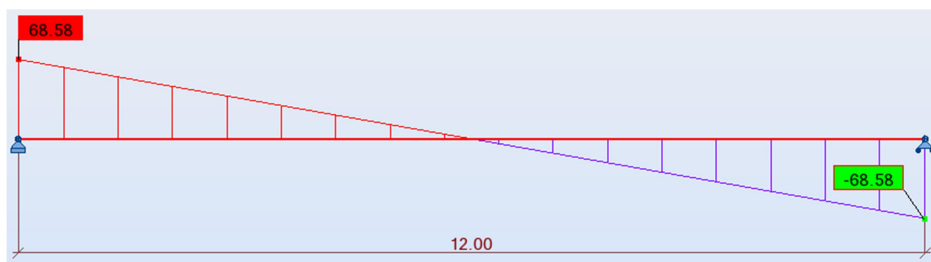
$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m}.$$



3.10 pav. Skaiĉiuojamoji plokštēs schema.



3.11 pav.  $M_y$  lenkimo momentu diagrama (kNm)



3.12 pav.  $Q_y$  skersinių jėgų diagrama (kN)

Patikrinamas santykinis parametras  $\mu_{ms}$ :

$$\mu_{ms} = \frac{M_u 1.96D}{f_{ck} h^3} = \frac{0,20574 \cdot 1,96 \cdot 0,27}{30 \cdot 0,34^3} = 0,09 \leq 0,20 \quad (3.3.46)$$

Sąlyga tenkinama.

### 3.3.2.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{205,74 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 305^2} = 0,123 < \mu_{Eds,lim} = 0,295 \quad (3.3.47)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}}\right) = \frac{1}{0,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,123}{1}}\right) = 0,164 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (3.3.48)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 50,02}{450} = 1600 \text{ mm}^2 = 16,00 \text{ cm}^2 \quad (3.3.49)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,164 \cdot 305 = 50,02 \text{ mm}.$  (3.3.50)

Atsižvelgiant į tai, kad į 1m pločio plokštėje telpa ~3vnt. įdėklų ir į tai, kad armatūros tinklas yra naudojamas sudėti įdėklams, reikėtų reikiamą armatūros skerspjūvį padalinti į mažiausiai  $3 \times 2 = 6$  vnt. strypų. Pasirenku tempiamai zonai yy kryptimi 6Ø16 ir 3Ø14 strypus, kurių  $A_s = 12,06 + 4,62 = 16,68 \text{ cm}^2$ .

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštėms leistiną kiekį:

$$A_s = 1668 \text{ mm}^2 \geq A_{s,min} = 460 \text{ mm}^2$$

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 1668}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 52,13 \text{ mm} = 0,05213 \text{ m} \quad (3.3.51)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,05213 \cdot (0,305 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,05213) = 213,3 \text{ kNm} \quad (3.3.52)$$

$$M_{RD} = 213,3 \text{ kNm} > M_{ED} = 205,74 \text{ kNm} \quad (3.3.53)$$

Skersine kryptimi strypai į tinklą jungiami analogišku žingsniu kaip ir išilginiai yy kryptimi tempiami strypai. Šiuo atveju skersiniai strypai skirti užtikrinti ne tik lenkimo jėgą xx kryptimi, tačiau taip pat ir teisingai sudėti įdėklus į gaminį, čia armatūra dedama konstrukciškai sutvirtinti įdėklus. Parenku xx kryptimi Ø8 strypus.

### 3.3.2.3. Pagrindinės viršutinės armatūros parinkimas

Atsižvelgiant, kad plokštė skaičiuojama kaip dviatramė, čia neveikia neigiamas lenkimo momentas, todėl armatūra dedama konstrukciškai, pagal kiaurymes reikalingas sudėti įdėklams.

Armatūrinis tinklas parenkamas analogiškas kaip ir apatinėje zonoje, tik čia pakanka naudoti Ø8 strypus.

### 3.3.2.4. Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Remiantis „BubbleDeck“ projektavimo reikalavimais perdangos plokščių, su skerspjūvyje esančiais liktiniais įdėklais, inercijos momentas gali būti apskaičiuojamas kaip paprasto stačiakampio elemento pritaikant redukcijos koeficientą, kuris BD340 tipo ploštei lygus 0,87.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,34 + 6,06 \times 0,001668 = 0,35 \text{ m}^2 \quad (3.3.54)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.3.55)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,34^2 + 6,06 \times 0,001668 \times 0,035 = 0,058 m^3 \quad (3.3.56)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,058}{0,35} = 0,166 m \quad (3.3.57)$$

$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \right] \quad (3.3.58)$$

$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{1 \cdot 0,34^3}{12} + 1 \cdot 0,34 \cdot \left( \frac{0,34}{2} - 0,166 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,001668 (0,166 - 0,035)^2 \right] = 0,003 m^4 \quad (3.3.59)$$

### 3.3.2.5. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 68,58 kN.$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.3.60)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (3.3.61)$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{305}} = 1,8 < 2,0 \quad (3.3.62)$$

pasirenkama  $k = 1,8$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1668}{1000 \cdot 305} = 0,0055 \leq 0,02 \quad (3.3.63)$$

$$\sigma_{cp} = 0, k_1 = 0,15;$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.3.64)$$

$$v_{\min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,8^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,46 \quad (3.3.65)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5$   $f_{ck} = 30MPa$ .

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,8(100 \cdot 0,0055 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 305 = 167,72kN \geq \quad (3.3.66)$$

$$\geq (0,46 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 305 = 140,3kN$$

$$V_{Ed} = 68,58 < V_{Rd,c} = 167,72kN$$

Remiantis „BubbleDeck-UK“ projektavimo reikalavimas plastikinius įdėklus galima dėti tik kur skersinės jėgos neviršija 60% perdangos stiprumo, todėl skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė skerspjūvyje su įdėklais:

$$V_{Rd,c,void} = V_{Rd,c} \cdot 0,6 = 167,72 \cdot 0,6 = 100,62kN \quad (3.3.67)$$

$$V_{Ed} = 68,58kN < V_{Rd,c(burb)} = 100,62kN \quad (3.3.68)$$

Vadinasi, kad plokštės su skerspjūvyje esančiais įdėklais stiprumo pakanka atlaikyti didžiausią skaičiuojamąją skersinę jėgą.

### 3.3.2.6. Įlinkio skaičiavimas

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (3.3.69)$$

kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{\text{eff, red}}} = \frac{14,04 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,003} = 1,67 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.3.70)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 12^2}{8} = 14,04kNm \quad (3.3.71)$$

kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{\text{eff, red}}} = \frac{158,94 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,003} = 37,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \quad (3.3.72)$$

$$M_{Eqd} = \frac{g_{d, \text{void}, 12} \cdot l^2}{8} = \frac{8,83 \cdot 12^2}{8} = 158,94 \text{ kNm} \quad (3.3.73)$$

Suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (1,67 + 37,8) \cdot 10^{-4} = 39,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \quad (3.3.74)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 39,47 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12^2 = 0,059 \text{ m} = 59 \text{ mm}. \quad (3.3.75)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{12}{250} = 0,048 \text{ m} = 48 \text{ mm}. \quad (3.3.76)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis viršija ribinį  $d = 59 \text{ mm} > d_{lim} = 48 \text{ mm}$ ., todėl turėtų būti didinamas perdangos storis, betono klasė, armavimas arba panaudota įtempto gelžbetonio technologija.

### 3.4. 15m. perdangos plokštė

#### 3.4.1 Monolitinė perdanga

Preliminarus 15m ilgio monolitinės plokštės storis:

$$h_{pl, 15} = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{32}\right) \cdot l = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{32}\right) \cdot 15 = 0,42 \div 0,47 \text{ m} \quad (3.4.1)$$

(3.2.1.4)

Pasirenku -  $h_{pl, 15} = 450 \text{ mm}$

Bus projektuojama dviatramė 450x1000 x9000mm perdangos plokštė.

Monolitinės perdangos tūris:

$$V_{pl,15} = h \cdot b \cdot l = 0,45 \cdot 1 \cdot 15 = 6,75m^3; \quad (3.4.2)$$

### 3.4.1.1. Įrašų skaičiavimas

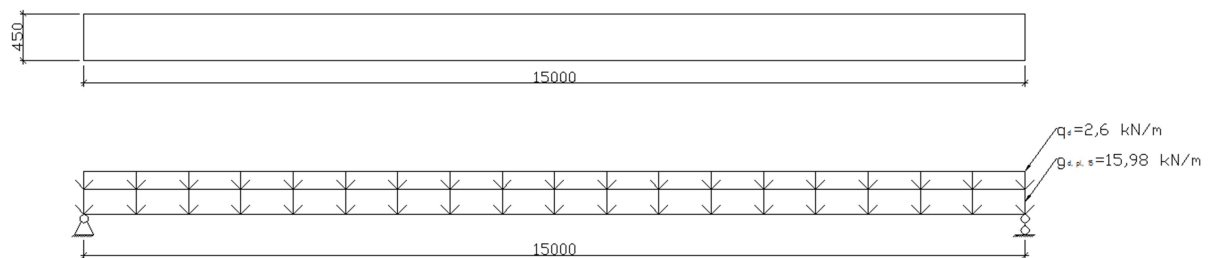
$$g_{k,pl,15} = 6,75 \cdot 2500 \cdot 10 = 168750N = 168,75kN; \quad (3.4.3)$$

$$g_{k,pl,15} = 168,75 / 15 = 11,25kN/m; \quad (3.4.4)$$

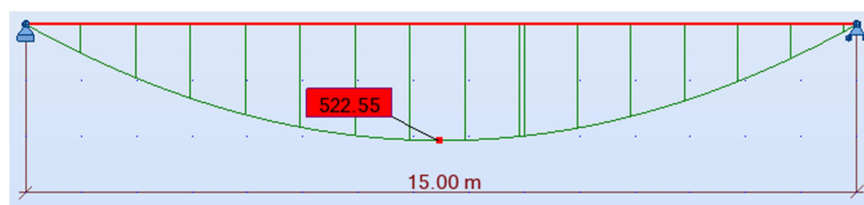
$$g_{d,pl,15} = g_{k,pl,15} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 11,25 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 1 = 15,98 \text{ kN/m}. \quad (3.4.5)$$

$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m}. \quad (3.4.6)$$

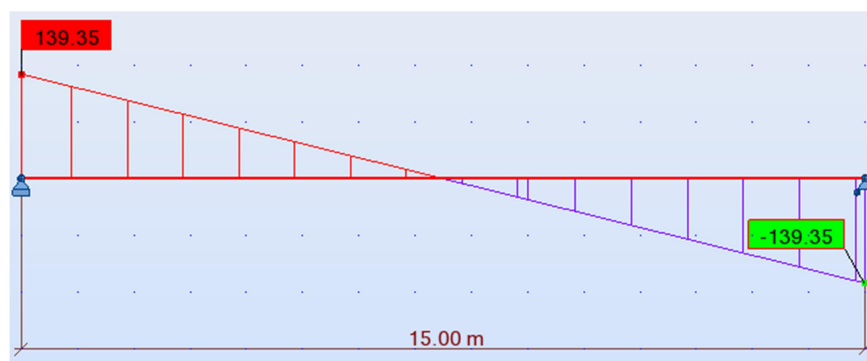
Plokštės skaičiavimui atlikti programa ROBOT.



3.13 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.



3.14 pav.  $M_y$  lenkimo momentų diagrama (kNm)



3.15 pav.  $Q_y$  skersinių jėgų diagrama (kN)

### 3.4.1.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

Apskaičiuojamas minimalus plokštės darbo aukštis:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{M_{\max}}{\mu_{Eds,\lim} f_{cd} b}} = \sqrt{\frac{522,55}{0,295 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1}} = 0,314m. \quad (3.4.7)$$

$$\mu_{Eds,\lim} = \eta \lambda \xi_{\lim} (1 - 0,5 \lambda \xi_{\lim}) = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,45 (1 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,45) = 0,295 \quad (3.4.8)$$

čia:  $\lambda=0,8$  ir  $\eta=1$ , nes  $f_{ck} < 50\text{MPa}$ .

Kadangi plokštėje yra neįvertinamas momentų persiskirstymas dydis  $\mu_{Eds,\lim}$  apskaičiuojamas, pasirenkant  $\xi_{\lim} \leq 0,45$ , kai betono klasė C50/60 ir mažesnė. [1][23]

Kai apsauginis betono sluoksnis nemažesnis kaip 25 mm (XC1, REI90) ir armatūros  $\varnothing \sim 20$  mm, plokštės darbo aukštis:

$$d = h_{pl,9} - a = 0,45 - 0,035 = 0,415m > d_{\min} = 0,314m \quad (3.4.9)$$

Imamas  $a=25+(20/2)=35\text{mm}$ ,

Tada:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{522,55 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 415^2} = 0,169 < \mu_{Eds,\lim} = 0,295 \quad (3.4.10)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}}\right) = \frac{1}{0,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,169}{1}}\right) = 0,233 < \xi_{\lim} = 0,45 \quad (3.4.11)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 97}{450} = 3104\text{mm}^2 = 31,04\text{cm}^2 \quad (3.4.12)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,233 \cdot 415 = 97\text{mm}. \quad (3.4.13)$

Pasirenku tempiamai zonai  $y$  kryptimi 10 $\varnothing$ 20 strypus, kurių  $A_s=31,42\text{cm}^2$

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštės leistiną kiekį. Minimalaus armavimo koeficientas -  $\rho_{\min} = 0,0013$



$$A_{s,\min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq \rho_{\min} b_t d \quad (3.4.14)$$

$$A_{s,\min} = 0.26 \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 415 = 626 \text{mm}^2 \geq 0.0013 \cdot 1000 \cdot 415 = 540 \text{mm}^2 \quad (3.4.15)$$

Čia:  $f_{ctm}$  = vidutinis betono tempiasis stipris. C30/37 klasės betonui  $f_{ctm} = 2,9$  Mpa.

$$A_s = 3142 \text{mm}^2 \geq A_{s,\min} = 626 \text{mm}^2$$

Sąlyga tenkinama.

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 3142}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 98,2 \text{mm} = 0,0982 \text{m} \quad (3.4.16)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,0982 \cdot (0,415 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0982) = 531,3 \text{kNm} \quad (3.4.17)$$

$$M_{RD} = 531,3 \text{kNm} > M_{ED} = 522,55 \text{kNm} \quad (3.4.18)$$

### 3.4.1.3. Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,45 + 6,06 \times 0,003142 = 0,47 \text{m}^2 \quad (3.4.18)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.4.19)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,45^2 + 6,06 \times 0,003142 \times 0,035 = 0,1 \text{m}^3 \quad (3.4.20)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,1}{0,47} = 0,21m \quad (3.4.21)$$

Redukuoto skerspjūvio inercijos momentas:

$$I_{eff} = \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \quad (3.4.22)$$

$$I_{eff} = \frac{1 \cdot 0,45^3}{12} + 1 \cdot 0,45 \cdot \left( \frac{0,45}{2} - 0,21 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,003142 (0,21 - 0,035)^2 = 0,0083 \text{ m}^2 \quad (3.4.23)$$

#### 3.4.1.4. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 139,35kN.$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.4.24)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (3.4.25)$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{415}} = 1,69 < 2,0 \quad (3.4.26)$$

pasirenkama  $k = 1,8$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{3142}{1000 \cdot 415} = 0,00757 \leq 0,02 \quad (3.4.27)$$

$\sigma_{cp} = 0$ ,  $k_1 = 0,15$ ;

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.4.28)$$

$$v_{\min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,69^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,42 \quad (3.4.29)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5$   $f_{ck} = 16MPa$ .

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,69(100 \cdot 0,00757 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 415 = 238,33kN \geq \quad (3.4.30)$$

$$\geq (0,42 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 415 = 174,3kN$$

$$V_{Ed} = 139,35kN < V_{Rd,c} = 238,33kN \quad (3.4.31)$$

Plokštės skersinio pjūvio laikomoji galia atlaiko veikiančią išorinę skersinę jėgą.

### 3.4.1.5 Įlinkio skaičiavimas

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (3.4.32)$$

kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{\text{eff, red}}} = \frac{21,9 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0083} = 0,94 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.33)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 15^2}{8} = 21,9kNm \quad (3.4.34)$$

kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{\text{eff, red}}} = \frac{449,4 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,0083} = 38,6 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.35)$$

$$M_{Egd} = \frac{g_{d,pl,15} \cdot l^2}{8} = \frac{15,98 \cdot 15^2}{8} = 449,4kNm \quad (3.4.36)$$

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (0,94 + 38,6) \cdot 10^{-4} = 39,54 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.37)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 39,54 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 15^2 = 0,093m = 93mm. \quad (3.4.38)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{15}{250} = 0,06m = 60mm \quad (3.4.39)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis viršija ribinį  $d = 93 \text{ mm} > d_{lim} = 60 \text{ mm}$ ., todėl turėtų būti didinamas perdangos storis, betono klasė, armavimas arba panaudota įtempto gelžbetonio technologija.

### 3.4.2. „BubbleDeck“ perdanga

Bus projektuojama dviatramė BD 450, 15m ilgio tipo perdangos plokštė su sekančiais parametrais:

naudojamų įdėklų diametras – Ø 360mm;

maksimalus įdėklų skaičius į  $1 \text{ m}^2$  – 6,25vnt/m<sup>2</sup>.

Maksimaliai galimas įdėklų skaičius plokštėje =  $15 \times 6,25 = 93,75$ vnt.

Įdėklų tūris:

$$V_{void} = \left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \cdot 93,75 = \left(\frac{4}{3}\pi 0,18^3\right) \cdot 93,75 = 2,29m^3; \quad (3.4.40)$$

Pilnavidurės perdangos tūris:

$$V_{pl,15} = h \cdot b \cdot l = 0,45 \cdot 1 \cdot 15 = 6,75m^3; \quad (3.4.41)$$

Perdangos tūris su įdėklais:

$$V_{void,15} = V_{pl,15} - V_{void} = 6,75 - 2,29 = 4,46m^3; \quad (3.4.42)$$

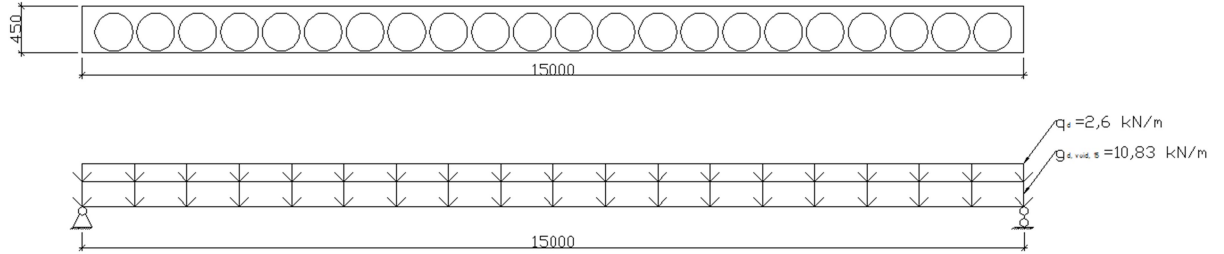
#### 3.4.2.1. Įrašų skaičiavimas

$$g_{k, void, 15} = 4,46 \cdot 2500 \cdot 10 = 11150N = 111,5 \text{ kN}; \quad (3.4.43)$$

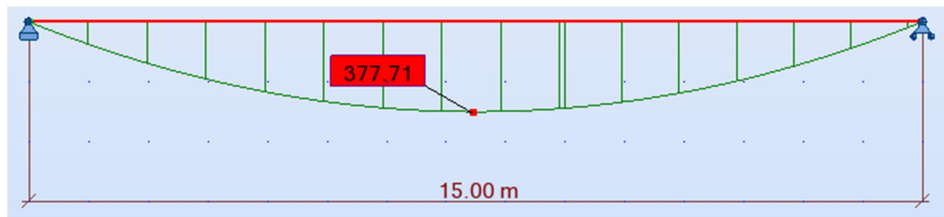
$$g_{k, void, 15} = 111,5 / 15 = 7,43kN/m; \quad (3.4.44)$$

$$g_{d, void, 15} = g_{k, void, 15} \cdot \gamma_G + g_d \cdot b = 7,43 \cdot 1,35 + 0,797 \cdot 1 = 10,83 \text{ kN/m.} \quad (3.4.45)$$

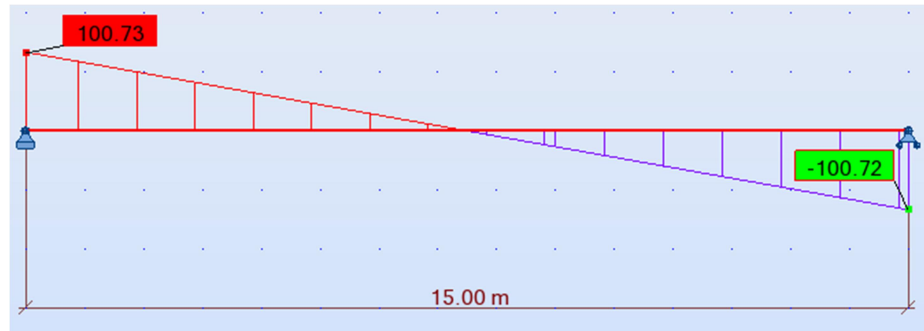
$$q_d = 2,6 \cdot b = 2,6 \cdot 1 = 2,6 \text{ kN/m.}$$



3.16 pav. Skaičiuojamoji plokštės schema.



3.17 pav.  $M_y$  lenkimo momentų diagrama (kNm)



3.18 pav.  $Q_y$  skersinės jėgos diagrama (kN)

Patikrinamas santykinis parametras  $\mu_{ms}$ :

$$\mu_{ms} = \frac{M_u \cdot 1,96D}{f_{ck} h^3} = \frac{0,3771 \cdot 1,96 \cdot 0,36}{30 \cdot 0,45^3} = 0,097 \leq 0,20 \quad (3.4.46)$$

Sąlyga tenkinama.

### 3.4.2.2. Pagrindinės apatinės armatūros skaičiavimas

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{ED}}{f_{cd} b d^2} = \frac{377,71 \cdot 10^6}{18 \cdot 1000 \cdot 415^2} = 0,122 < \mu_{Eds, \lim} = 0,295 \quad (3.4.47)$$

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{Eds}}{\eta}} \right) = \frac{1}{0,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,122}{1}} \right) = 0,163 < \xi_{\lim} = 0,45 \quad (3.4.48)$$

$$A_s = \frac{\eta f_{cd} b \lambda x}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 67,65}{450} = 2165 \text{mm}^2 = 21,65 \text{cm}^2 \quad (3.4.49)$$

Čia:  $x = \xi d = 0,163 \cdot 415 = 67,65 \text{mm}.$  (3.4.50)

Atsižvelgiant į tai, kad į 1m pločio plokštėje telpa ~2,5vnt. įdėklo ir į tai, kad armatūros tinklas yra naudojamas sudėti įdėklams, reikėtų reikiamą armatūros skerspjuvį padalinti į mažiausiai 2,5x2=5vnt. strypų. Pasirenku tempiamai zonai yy kryptimi 5Ø20 ir 3Ø16 strypus, kurių  $A_s = 15,71 + 6,03 = 21,74 \text{cm}^2$ .

Patikrinama ar apskaičiuota išilginė armatūra ne mažesnė už minimalų plokštėms leistiną kiekį:

$$A_s = 2174 \text{mm}^2 \geq A_{s,\min} = 626 \text{mm}^2 \quad (3.4.50)$$

Patikrinamas perdangos atsparumas lenkimo momentui

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{\eta f_{cd} b \lambda} = \frac{450 \cdot 2174}{1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8} = 67,94 \text{mm} = 0,06794 \text{m} \quad (3.4.51)$$

$$M_{RD} = \eta f_{cd} b \lambda x (d - 0,5 \lambda x) = 1 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,06794 \cdot (0,415 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,06794) = 379,42 \text{kNm}$$

$$M_{RD} = 379,42 \text{kNm} > M_{ED} = 377,71 \text{kNm} \quad (3.4.52)$$

Skersine kryptimi strypai į tinklą jungiami analogišku žingsniu kaip ir išilginiai yy kryptimi tempiami strypai. Šiuo atveju skersiniai strypai skirti užtikrinti ne tik lenkimo jėgą xx kryptimi, tačiau taip pat ir teisingai sudėti įdėklus į gaminį, čia armatūra dedama konstrukciškai sutvirtinti įdėklus. Parenku xx kryptimi Ø8 strypus.

### 3.4.2.3. Pagrindinės viršutinės armatūros parinkimas

Atsižvelgiant, kad plokštė skaičiuojama kaip dviatramė, čia neveikia neigiamas lenkimo momentas, todėl armatūra dedama konstrukciškai, pagal kiaurymes reikalingas sudėti įdėklams.

Armatūrinis tinklas parenkamas analogiškas kaip ir apatinėje zonoje, tik čia pakanka naudoti Ø8 strypus.

#### 3.4.2.4. Skerspjūvio geometriniai rodikliai.

Remiantis „BubbleDeck“ projektavimo reikalavimais perdangos plokščių, su skerspjūvyje esančiais liktiniais įdėklais, inercijos momentas gali būti apskaičiuojamas kaip paprasto stačiakampio elemento pritaikant redukcijos koeficientą, kuris BD450 tipo ploštei lygus 0,87.

Skerspjūvio plotas:

$$A_{eff} = b \times h + a_e A_s = 1 \times 0,45 + 6,06 \times 0,002174 = 0,463 m^2 \quad (3.4.53)$$

čia,  $\alpha_e$  armatūros tamprumo modulio ir betono tamprumo modulio santykis:

$$\alpha_e = \frac{E_{sp}}{E_c} = \frac{200000}{33000} = 6,06 \quad (3.4.54)$$

Skerspjūvio statinis momentas I-I krašto atžvilgiu:

$$S_{I-I} = 0,5 \times b \times h^2 + a_e \times A_s \times a = 0,5 \times 1 \times 0,45^2 + 6,06 \times 0,002174 \times 0,035 = 0,102 m^3 \quad (3.4.55)$$

Redukuoto skerspjūvio svorio centro atstumas nuo I-I krašto:

$$y_c = \frac{S_{I-I}}{A_{eff}} = \frac{0,102}{0,463} = 0,22 m \quad (3.4.56)$$

$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - y_c \right)^2 + \alpha_e A_s (y_c - a)^2 \right] \quad (3.4.57)$$

$$I_{eff,red} = 0,87 \left[ \frac{1 \cdot 0,45^3}{12} + 1 \cdot 0,45 \cdot \left( \frac{0,45}{2} - 0,22 \right)^2 + 6,06 \cdot 0,002174 (0,22 - 0,035)^2 \right] = 0,007 m^2 \quad (3.4.58)$$

#### 3.4.2.5. Skersinio pjūvio stiprumo tikrinimas

Didžiausia skaičiuojamoji skersinė jėga, veikianti plokštę:

$$V_{Ed} = 100,73 kN.$$

Skaičiuotinė didžiausia skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (3.4.59)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (3.4.60)$$

Čia:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{415}} = 1,69 < 2,0 \quad (3.4.61)$$

pasirenkama  $k = 1,8$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2174}{1000 \cdot 415} = 0,0052 \leq 0,02 \quad (3.4.62)$$

$\sigma_{cp} = 0, k_1 = 0,15;$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.4.63)$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,69^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,42 \quad (3.4.64)$$

Čia:  $\gamma_c = 1,5, f_{ck} = 30 \text{MPa}.$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,69 (100 \cdot 0,0052 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 415 = 210,29 \text{kN} \geq (0,42 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 415 = 174,3 \text{kN} \quad (3.4.65)$$

$$V_{Ed} = 100,73 < V_{Rd,c} = 210,29 \text{kN}$$

Remiantis „BubbleDeck-UK“ projektavimo reikalavimas plastikinius įdėklus galima dėti tik kur skersinės jėgos neviršija 60% perdangos stiprumo, todėl skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė skerspjūvyje su įdėklais:

$$V_{Rd,c,void} = V_{Rd,c} \cdot 0,6 = 210,29 \cdot 0,6 = 126,174 \text{kN} \quad (3.4.66)$$

$$V_{Ed} = 100,73 \text{kN} < V_{Rd,c(burb)} = 126,174 \text{kN} \quad (3.4.67)$$

Vadinasi, kad plokštės su skerspjūvyje esančiais įdėklais stiprumo pakanka atlaikyti didžiausią skaičiuojamąją skersinę jėgą.



### 3.4.2.6. Įlinkio skaičiavimas

Lenkiamųjų elementų suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (3.4.68)$$

kreivis nuo kintamųjų poveikių (trumpalaikės dalies):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M_{Eqd}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{21,94 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,007} = 1,11 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.69)$$

$$M_{Eqd} = \frac{0,3 \cdot q_d \cdot l^2}{8} = \frac{0,3 \cdot 2,6 \cdot 15^2}{8} = 21,94 kNm \quad (3.4.70)$$

kreivis nuo nuolatinių ir tariamai nuolatinių poveikių:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M_{Egd} \varphi_{c2}}{\varphi_{c1} E_{cm} I_{eff, red}} = \frac{304,6 \cdot 10^3 \cdot 2}{0,85 \cdot 33 \cdot 10^9 \cdot 0,007} = 31 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.71)$$

$$M_{Egd} = \frac{g_{d,void,15} \cdot l^2}{8} = \frac{10,83 \cdot 15^2}{8} = 304,6 kNm \quad (3.4.72)$$

Suminis kreivis:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 = (1,11 + 31) \cdot 10^{-4} = 32,11 \cdot 10^{-4} m^{-1} \quad (3.4.73)$$

Plokštės įlinkis:

$$d = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \left(\frac{5}{48}\right) \cdot l^2 = 32,11 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5}{48} \cdot 15^2 = 0,075 m = 75 mm. \quad (3.4.74)$$

Ribinis plokštės įlinkis:

$$d_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{15}{250} = 0,060 m = 60 mm. \quad (3.4.75)$$

Apskaičiuotasis plokštės įlinkis viršija ribinį  $d = 75 \text{ mm} > d_{lim} = 60 \text{ mm.}$ , todėl turėtų būti didinamas perdangos storis, betono klasė, armavimas arba panaudota įtempto gelžbetonio technologija.

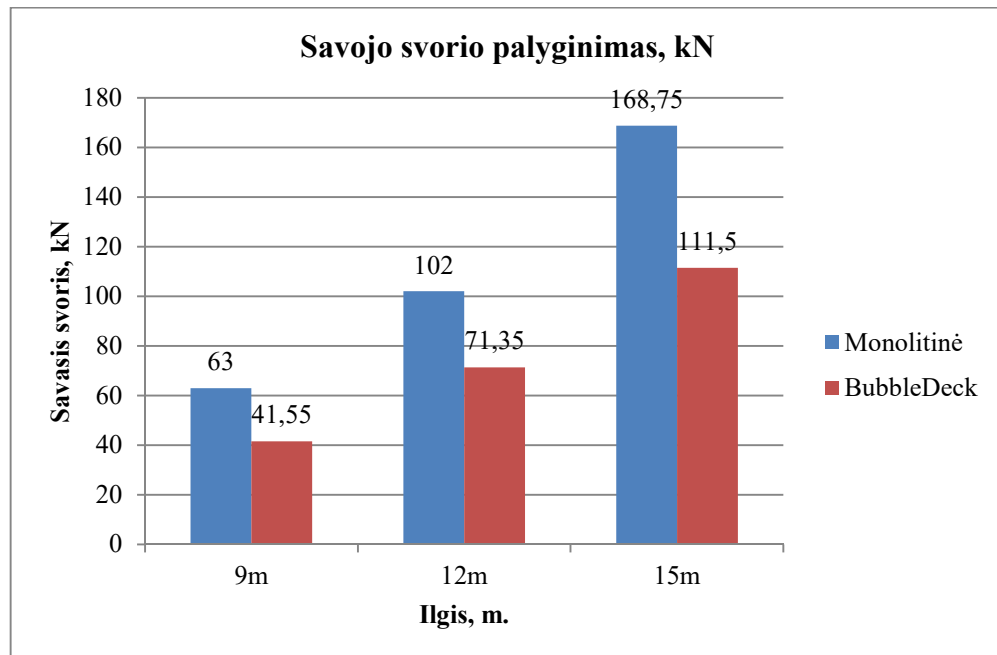
### 3.5. Trečiojo skyriaus išvados ir rezultatų analizė

Šiame skyriuje buvo suprojektuotos trijų skirtingų ilgių 9, 12 ir 15 metrų monolitinės ir „BubbleDeck“ BD280, BD340 ir BD450 tipo perdangos plokštės. Toliau esančiose lentelėse ir diagramose pateikiami, apskaičiuotų perdangos plokščių, gauti rezultatai ir tarpusavyje palyginami.

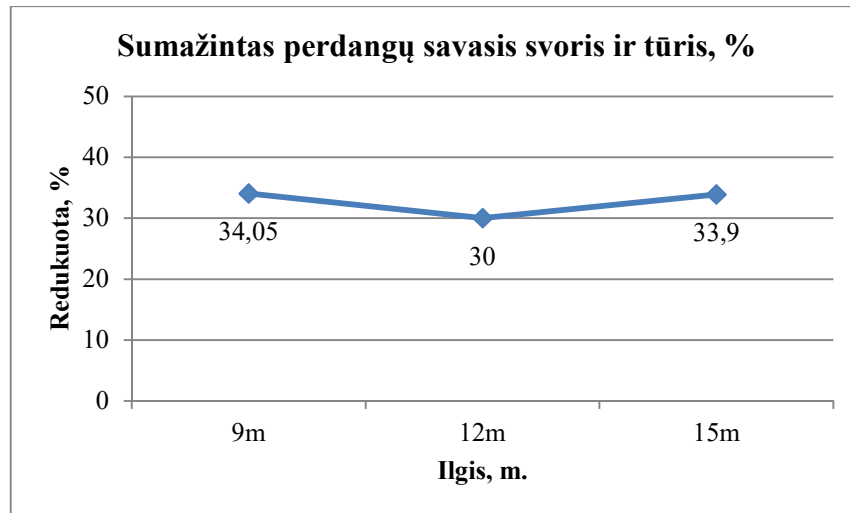
Nustatyta, kad naudojant liktinius įdėklus perdangos skerspjūvyje visais atvejais matomas ženklus savojo svorio ir tūrio sumažėjimas, naudojant „BubbleDeck“ BD280 tipo perdangą 9m tarpatramyje buvo gautas didžiausias 34,05% savojo svorio ir tūrio sumažinimas.

3.2 lentelė. Apskaičiuotų perdangos plokščių suvestinė.

| Ilgis, m | Konstrukcija | Storis, m | Įdėklo dydis, m | Tūris, m <sup>3</sup> | Savasis svoris, kN | Redukuota, % |
|----------|--------------|-----------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------|
| 9        | Monolitinė   | 0,28      | -               | 2,520                 | 63,00              | 34,05        |
|          | BD 280       |           | 0,225           | 1,662                 | 41,55              |              |
| 12       | Monolitinė   | 0,34      | -               | 4,080                 | 102,00             | 30,00        |
|          | BD 340       |           | 0,27            | 2,854                 | 71,35              |              |
| 15       | Monolitinė   | 0,45      | -               | 6,750                 | 168,75             | 33,90        |
|          | BD 450       |           | 0,36            | 4,460                 | 111,50             |              |



3.19 pav. Savojo svorio palyginimas

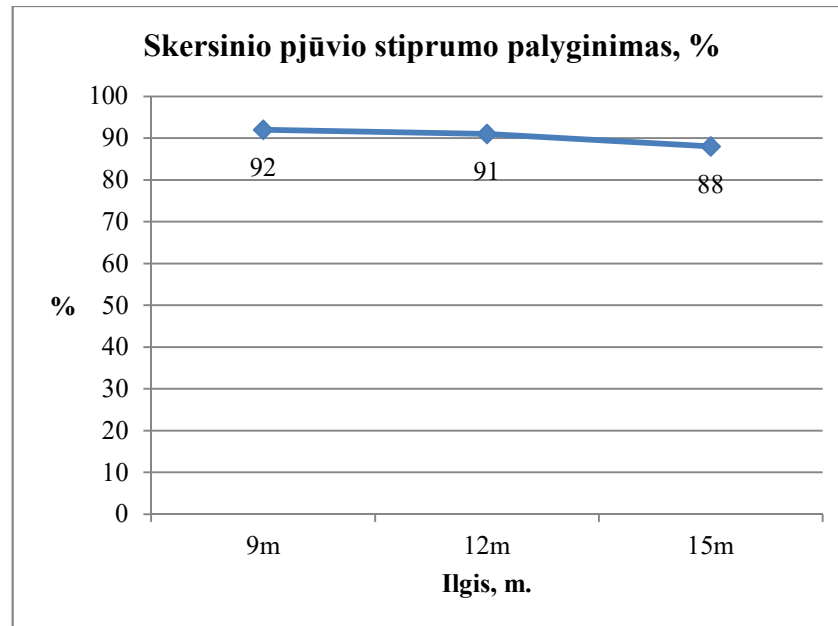


3.20 pav. Sumažintas perdangų savasis svoris ir tūris, %.

Atliekant visų perdangų, (tiek monolitinių, tiek „BubbleDeck“) stiprumo skaičiavimus, buvo siekiama suprojektuoti visas perdangas taip, kad jų atsparumas lenkimo momentui  $M_{RD}$  būtų kiek įmanoma artimesnis išorinių apkrovų ir savojo svorio sukeliama lenkimo momentui  $M_{ED}$ . Išpildant šį reikalavimą vėliau buvo apskaičiuojamas gautas skersinio pjūvio stiprumas. Iš 3.5.2 lentelės pateiktų rezultatų matyti, kad „BubbleDeck“ perdangų stiprumas visais atvejais yra mažesnis nei monolitinių perdangų, taip pat aiškiai matyti, kad didėjant tarptračio ilgiui skersinio pjūvio stiprumas neženkiai mažėja ir siekia 88-92% monolitinių perdangų stiprumo.

3.3 lentelė. Lenkimo momentų ( $M_{ED}$  ir  $M_{RD}$ ) ir skersinio pjūvio stiprumo ( $V_{Rd,c}$ ) suvestinė.

| Ilgis, m | Konstrukcija | $M_{ED}$ | $M_{RD}$ | Atsarga, % | $V_{Rd,c}$ | $V_{Rdc,void} / V_{Rdc,pl}$<br>% |
|----------|--------------|----------|----------|------------|------------|----------------------------------|
| 9        | Monolitinė   | 131,49   | 131,90   | 0,31       | 139,57     | 92                               |
|          | BD 280       | 97,54    | 106,39   | 8,32       | 128,94     |                                  |
| 12       | Monolitinė   | 267,70   | 274,62   | 2,52       | 183,47     | 91                               |
|          | BD 340       | 205,74   | 213,30   | 3,54       | 167,72     |                                  |
| 15       | Monolitinė   | 522,55   | 531,30   | 1,65       | 238,33     | 88                               |
|          | BD 450       | 377,70   | 379,42   | 0,45       | 210,29     |                                  |

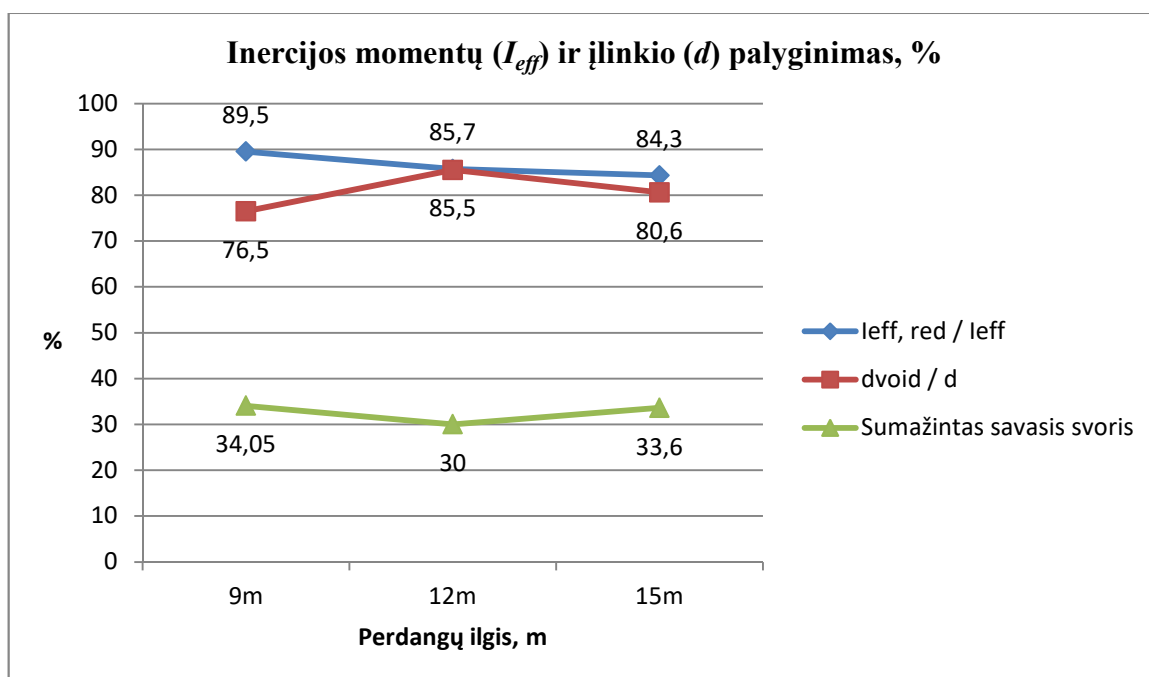


3.21 pav. Skersinio pjūvio stiprumo palyginimas, %.

Atliekant visų perdangų įlinkio skaičiavimus, buvo naudojamos tos pačios sąlygos ir ta pati nesupleišėjusio skerspjūvio įlinkio skaičiavimo metodika. Skaičiuojant įlinkį „BubbleDeck“ tipo perdangoms buvo naudojamas standumo mažinimo koeficientas, kuris visoms trimis BD280, BD340 ir BD 450 perdangoms yra lygus 0,87. Iš 3.5.3 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad didėjant tarpatramio ilgiui „BubbleDeck“ ir monolitinių perdangų inercijos momentų  $I_{eff, red} / I_{eff}$  santykis mažėja, t.y. kuo tarpatramis didesnis, tuo inercijos momentas „BubbleDeck“ perdangoje mažesnis už to paties storio ir ilgio monolitinę perdangą. Taip pat iš 3.5.3 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad visais atvejais „BubbleDeck“ tipo perdangų įlinkis, gaunamas mažesnis nei monolitinių perdangų, nepaisant to, kad būtent „BubbleDeck“ perdangų inercijos momentas yra mažesnis, taip yra dėl to, kad nagrinėjamu atveju, buvo naudojama sąlyginai maža naudojimo aprova ( $q_k=2\text{kN/m}^2$ ) ir sumažėjusio savojo svorio įtaka bendram perdangos svoriui ir sukeliama lenkimo momentui yra labai didelė. Tuo galima įsitikinti palyginus kiekvieno perdangų tipo sumažintą savąjį svorį su „BubbleDeck“ ir monolitinės perdangos įlinkių santykiu  $d_{void} / d$ . (žiūrėti 3.5.4 pav.), nesunku pastebėti, kad kuo daugiau buvo sumažintas perdangos savasis svoris, tuo perdangos su liktiniais įdėklais įlinkis gavosi mažesnis nei monolitinės perdangos ir atvirkščiai.

3.4 lentelė. Inercijos momentų ( $I_{eff}$ ) ir įlinkio ( $d$ ) suvestinė.

| Ilgis, m | Konstrukcija | $I_{eff}$<br>$m^4$ | $I_{eff, red} / I_{eff}$<br>% | $d$ ,<br>m | $d_{void} / d$ ,<br>% |
|----------|--------------|--------------------|-------------------------------|------------|-----------------------|
| 9        | Monolitinė   | $19 \cdot 10^{-4}$ | 89,5                          | 0,034      | 76,5                  |
|          | BD 280       | $17 \cdot 10^{-4}$ |                               | 0,026      |                       |
| 12       | Monolitinė   | $35 \cdot 10^{-4}$ | 85,7                          | 0,069      | 85,5                  |
|          | BD 340       | $30 \cdot 10^{-4}$ |                               | 0,059      |                       |
| 15       | Monolitinė   | $83 \cdot 10^{-4}$ | 84,3                          | 0,093      | 80,6                  |
|          | BD 450       | $70 \cdot 10^{-4}$ |                               | 0,075      |                       |



3.22 pav. Inercijos momentų ( $I_{eff}$ ) įlinkio ( $d$ ) ir sumažinto savojo svorio palyginimas, %

## Išvados

- Perdangų sistemos su liktiniais įdėklais gali būti projektuojamos panašiai kaip ir įprastinių perdangos plokščių, naudojant STR ar EC2 projektavimo reikalavimus, svarbu atkreipti dėmesį į skersinio pjūvio stiprumą ir praspaudimo sąlygą, perdangos plokštės ir kolonos sujungimo vietoje, zonos kur nėra išpildoma praspaudimo sąlyga, su skerspjuvyje esančiais liktiniais įdėklais, turi likti monolitinės, taip pat būtina įvertinti sumažėjusį perdangos standumą.
- Atlikus trijų skirtingų ilgių 9, 12 ir 15 metrų monolitinių ir „BubbleDeck“ BD280, BD340 ir BD450 tipo perdangos plokščių skaičiavimus, nustatyta, kad naudojant liktinius įdėklus perdangos skerspjuvyje visais atvejais matomas savojo svorio ir tūrio sumažėjimas, nuo 30% iki 34,05%, taip pat nustatyta, kad didėjant tarpatramio ilgiui skersinio pjūvio stiprumas mažėja ir siekia 88-92%, o taip pat mažėjantis inercijos momentas siekia 84,3-89,5% lyginant su to paties storio ir ilgio monolitinėmis perdangomis.
- Visais atvejais „BubbleDeck“ tipo perdangų įlinkis gaunamas mažesnis nei monolitinių perdangų, nepaisant to, kad būtent „BubbleDeck“ perdangų inercijos momentas yra mažesnis, taip yra dėl to, kad nagrinėjamu atveju, buvo naudojama sąlyginai maža naudojimo aprova ( $q_k=2kN/m^2$ ) ir sumažėjusio savojo svorio įtaka buvo reikšminga bendram perdangos darbui.

## Literatūros sąrašas

- [1] LST EN 1992-1-1. Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas; 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės.
- [2]. Marais, C., Robberts, J., Van Rensburg, B., Spherical void formers in concrete slabs. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2010, 52.
- [3] *BubbleDeck Voided Flat Slab Solutions, Technical Manual & Documents*, BubbleDeck UK, Issue 1, 2008, 91..
- [4] Valivonis, J.; et al. Liktinis įdėklas tuštumoms betone formuoti. Patento Nr. 6097. Vilnius: Lietuvos patentų biuras, 2014.
- [5]. Rosato, D. *Plastics Technology Handbook*. New York: Momentum Press LLC, 2013.
- [6] *BubbleDeck Design Guide for compliance with BCA using AS3600 and EC2*, Prepared by KYNG Consulting PTY LTD. Ref. DG\_v1.2, 2008, 18.
- [7] *BubbleDeck Design Guide, The biaxial hollow deck*, BubbleDeck Company. 5.
- [8] *Cobiax Quickguide*, provided by Cobiax Technologies GmbH, 2015, 2.
- [9] *Eco-Line Technology Handbook*, provided by Cobiax Technologies AG, 2017, 33 pages.
- [10] *U-Boot Guide*, provided by Daliform, 17.
- [11] „BEEPLATE“ Statical Proof according to DIN 1045-1 and Fire Protection according to DIN 4102 part 4, 2009.
- [12] *Beeplate Bamtec Guide*, provided by Beeplate. 2017, 25.
- [13] C. Marais, Design adjustment factors and the economical application of concrete flatslabs with internal spherical voids in South-Africa. Master of Structural Engineering. University of Pretoria, 2009, 264.
- [14] J.J Chung, J.H Park, H.K Choi, S.C Lee, C.S Choi, *An analytical study on the impact of hollow shapes in bi-axial hollow slabs*, *Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures - High Performance, Fiber Reinforced Concrete, Special Loadings and Structural Applications*, Korea Concrete Institute, 2010, 8.
- [15] T.Lai, *Structural behaviour of Bubbledeck slabs and their application to lightweight bridge deck*. Master thesis, Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2010, 42.
- [16] Straipsnis: „VGTU patentavo technologiją, kuri betono sąnaudas sumažina beveik dvigubai“ <http://m.technologijos.lt/text/cat/1/article/S-47091>

- [17] S. Klimanskis, T. Kličius, S. Sušinskas, „Burbuliniai perdangos klojiniai. Jų naudojimo galimybės Lietuvos statybos objektuose“. Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas. 2009
- [18] Cobiax brochure - Lightweight Concrete Slab, provided by Cobiax company, 2016, 8 .
- [19] M. Mota, Concrete Reinforcing Steel Institute, *Voided SLABS – New Trends*, December 2014, 66.
- [20] ExxonMobil Chemical. *Product safety summary: High Density Polyethylene*. September 2015, 3.
- [21] A. Albert, J. Schneel, D. Busch. New void formers for biaxial voided slabs. FIB Symposium (Fédération international du béton), 2016, Cape Town, South Africa. 9.
- [22] STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“.
- [23] M. Augonis. „Gelžbetoninių sijinių perdangų projektavimo metodiniai nurodymai“. Vilnius, Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2011m.
- [24] STR 2.05.05:2005 „Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas“.
- [25] STR 2.05.05:2005 „Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas“, 3 priedas, Praktinio taikymo vadovas.
- [26] STR 2.05.05:2005 „Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas“, 5 priedas, Praktinio taikymo vadovas.
- [27] LST EN 13747:2005+A2. Angliškoji versija. Gamykliniai betoniniai gaminiai. Plokštinės grindų perdangos;
- [28] Bistrickaitė R., Marciukaitis G., Žilinskas R., Surenkamosios monolitinės gelžbetonio perdangos su liktiniais klojiniais. 2004;



# Priedai

## Priedas Nr.1



Airidas Morkūnas <morkunasairidas@gmail.com>

---

### Bubble deck design

2 laiškai(-ų)

Airidas Morkūnas <morkunasairidas@gmail.com>  
Kam: bstaab@cobiax.com, jcote@cobiax.com, fnowak@cobiax.com

2017 m. gegužės 10 d. 13:19

Hello,

I'm Airidas from Kaunas university of technology, Lithuania.

I'm studying civil engineering.

I want to ask you some help of filigran with plastic bubbles design.

Maybe you can give me some information about design, (calculation example, technical guide or something like that, everything would be useful).

Or can you give me responsible person contact of design?

I would greatly appreciate.

Thanks.

Best regards,

Airidas Morkūnas

---

### 3 priedai (-ų)



20170119\_133334.jpg  
1985K



20170119\_133338.jpg  
1608K

20170119\_133353.jpg  
1989K



Nowak, Felix (Cobiax) <FNowak@cobiax.com>

2017 m. gegužės 11 d. 17:00

Kam: Airidas Morkūnas <morkunasairidas@gmail.com>

Cc: "Cote, Jan (Cobiax)" <JCote@cobiax.com>, "Staab, Barbara (Cobiax)" <BStaab@cobiax.com>

Dear Airidas,

first of all thank you very much for getting in contact with us.

It's good to see that nowadays, students are eager already to consider our ecologic, sustainable and economic void formers within their tasks.

The design takes place in the following manner:

1) Do the usual slab-design, but generate a supplemental force in non-gravity direction equal the amount of gravityload replaced by our product per square meter.

Normally you can start the design with a reduced slab height of 5-8% in order to attain the same level of displacement compared to your former slab which didnt consider our void formers.

2) Regarding shear force distribution of your slab, you should only place our void formers in areas where the slab is submitted to shear forcecs not exceeding 50% of ist shear bearing capacity.

3) All areas of higher shear loading (column areas, wall areas) have to be considered fully filled up with concrete. So you have to generate the full gravity load to these areas again.

And thats it basically. Isnt that easy?

I hope i could help you Airidas. Otherwise throw a look at the attached documents!

All the best!

**M.Sc. Felix Nowak**  
Projektleitung / Vertriebsingenieur

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=4087ab21b5&view=pt&search=inbox&th=15bf7cf7094504bd&dsqt=1&siml=15bf1df53f70a817&siml=15bf7cf7094...> 2/3

Von: Airidas Morkūnas [mailto:morkunasairidas@gmail.com]

Gesendet: Mittwoch, 10. Mai 2017 12:20

An: Staab, Barbara (Cobiax) <[BStaab@cobiax.com](mailto:BStaab@cobiax.com)>; Cote, Jan (Cobiax) <[JCote@cobiax.com](mailto:JCote@cobiax.com)>; Nowak, Felix (Cobiax) <[FNowak@cobiax.com](mailto:FNowak@cobiax.com)>

Betreff: Bubble deck design

Hello,

I'm Airidas from Kaunas university of technology, Lithuania.

I'm studying civil engineering.

I want to ask you some help of filigran with plastic bubbles design.

Maybe you can give me some information about design, (calculation example, technical guide or something like that, everything would be useful).

Or can you give me responsible person contact of design?

I would greatly appreciate.


Thanks.


Best regards,

Airidas Morkūnas

---

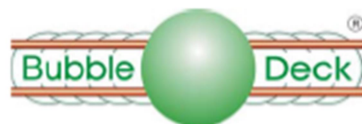
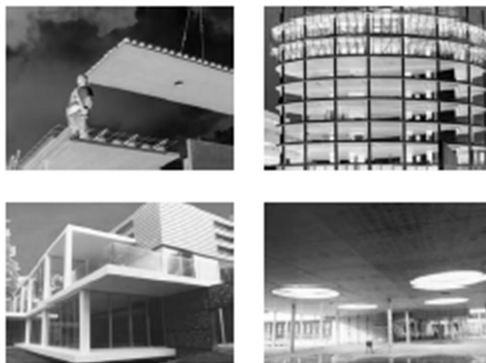
2 priedai (-ų)

 Cobiax\_BRO\_10\_2016\_en.pdf  
7447K

 Cobiax\_QG\_02\_2017\_en.pdf  
2591K

## The two-way hollow deck

## The way to new solutions



## 1 GENERAL

BubbleDeck, as a two-way hollow-body floor slab, is generally designed using the conventional design methods for solid floor slabs in accordance with the current reinforced-concrete construction standard DIN 1045 (1988) or DIN 1045 (2001). The reduced intrinsic load is taken into account here, resulting in advantages for the individual static verifications. The required solid zones are defined using the calculated shear load-bearing capacity of the BubbleDeck without shear reinforcement.

The advantages of BubbleDeck become apparent when it comes to the deformation calculation; bending-strength design; penetration design; load transfer to supports, walls and foundations; crack-reinforcement design; earthquake design; determination of resonant frequencies and determination of auxiliary supports during the construction phase.

The hollow balls are first combined with upper and lower reinforcement mats and lattice trusses at the factory to form a BubbleDeck module. This module can already include the necessary lower bending reinforcement. If the reinforcement is a purely structural reinforcement, the module is referred to as a BubbleDeck basic module.

BubbleDeck semi-precast modules are produced by pouring a concrete layer on the BubbleDeck module at the finished-component factory.

Both the ball grid spacings and the dimensions of the prefabricated modules are variable. The resulting flexibility ensures that the modules can be adapted to any floor plan and can accommodate lines, pipes and installation parts. Openings can also be included, even subsequently.

## 2 EXECUTION VARIANTS

Depending on requirements, BubbleDeck can be concreted in situ with conventional formwork or it can be designed as a semi-precast module with auxiliary support or as a finished component. Combination with other construction methods, e.g. prestressing, is also possible. Any concrete quality and density can be used. All connection details and similar requirements can be planned and executed in the same way as with a conventional solid slab.

## 3 TECHNICAL SPECIFICATIONS

All relevant data for designing BubbleDeck is contained in the following table. The axis spacing of the balls can be varied. The load reduction must then be adapted depending on the remaining number of balls per square metre.

|                                      |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ball diameter                        | [cm]                 | 18.00 | 22.50 | 27.00 | 31.50 | 36.00 | 40.50 | 45.00 |
| Minimum axis spacing                 | [cm]                 | 20.00 | 25.00 | 30.00 | 35.00 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| Maximum number of balls              | [1/m <sup>2</sup> ]  | 25.00 | 18.00 | 11.11 | 8.16  | 6.25  | 4.94  | 4.00  |
| Recommended minimum slab thickness   | [cm]                 | 23.00 | 28.00 | 34.00 | 40.00 | 45.00 | 52.00 | 58.00 |
| Load reduction per ball              | [kN]                 | 0.08  | 0.15  | 0.26  | 0.41  | 0.61  | 0.87  | 1.19  |
| Maximum load reduction per sq. metre | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1.91  | 2.39  | 2.88  | 3.34  | 3.82  | 4.29  | 4.77  |
| Rigidity factor                      | [-]                  | 0.88  | 0.87  | 0.87  | 0.88  | 0.87  | 0.88  | 0.88  |
| Shear factor                         | [-]                  | 0.60  | 0.60  | 0.60  | 0.60  | 0.60  | 0.60  | 0.60  |

## 4 BENDING-STRENGTH DESIGN

Bending-strength design for a rectangular cross section can be performed with conventional tools if the following limits are observed:

|             |   |
|-------------|---|
| DIN 1045-1: | $\mu_{rel} = m_{rel} \cdot D_{BD} \cdot 1.98 / (d_b^3 \cdot f_{ck}) \leq 0.2$   |
|             | where: $\mu_{rel}$ = relative bending moment in the ball zone [-]               |
|             | $m_{rel}$ = max. bending moment [MNm/m]   |
|             | $D_{BD}$ = ball diameter [m]  |
|             | $d_b$ = static height of the BubbleDeck® [m]                                    |
|             | $f_{ck}$ = characteristic strength according to DIN 1045-1 [MN/m <sup>2</sup> ] |
| DIN 1045:   | $m_{rel} = m \cdot D_{BD} \cdot 1.17 / (d_b^3 \cdot \beta_{rel}) \leq 0.2$      |
|             | where: $m_{rel}$ = relative bending moment in the ball zone [-]                 |
|             | $m$ = max. bending moment under occupancy load [MNm/m]                          |
|             | $D_{BD}$ = ball diameter [m]  |
|             | $d_b$ = static height of the BubbleDeck® [m]                                    |
|             | $\beta_{rel}$ = calculated strength according to DIN 1045 [MN/m <sup>2</sup> ]  |

## 5 FIRE PROTECTION

According to the general building supervisory authority test certification P-SAC 02/IV-065, MFPA Leipzig e.V.:

The minimum concrete covering min c to the lower reinforcement depending on the fire-resistance duration and the steel stresses under the computed occupancy load can be determined according to the following table.

| Steel stress<br>$\sigma_s$ (MN/m <sup>2</sup> ) ≤ | Steel utilisation<br>$\sigma_s$ (MN/m <sup>2</sup> ) / 288 (MN/m <sup>2</sup> ) * 100 % | Fire resistance (minutes) |        |        |        |        |
|---|---|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
|   |   | 30                        | 60     | 90     | 120    | 180    |
| 190   | 66 %  | 1.7 cm                    | 1.7 cm | 1.7 cm | 1.7 cm | -      |
| 288   | 100 %   | 1.7 cm                    | 2.9 cm | 3.5 cm | 4.2 cm | 5.5 cm |

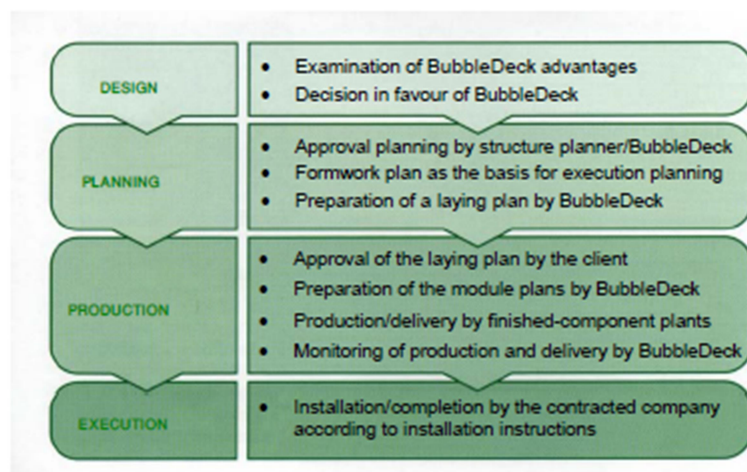
The concrete covering to the ball can be 0.5 cm less than the aforementioned values. The hollow plastic balls consist of high-density polyethylene (HDPE) and must comply with construction material class B2 according to DIN 4102-1 at minimum. The upper concrete covering min c to the ball must be at least 2.50 cm.

## 6 SOUND INSULATION

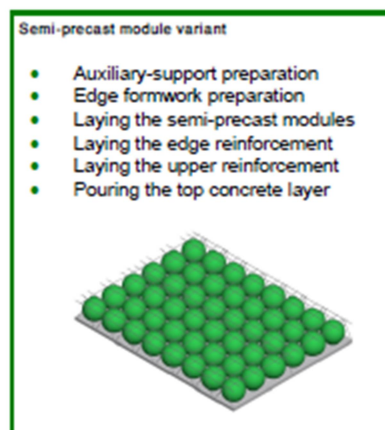
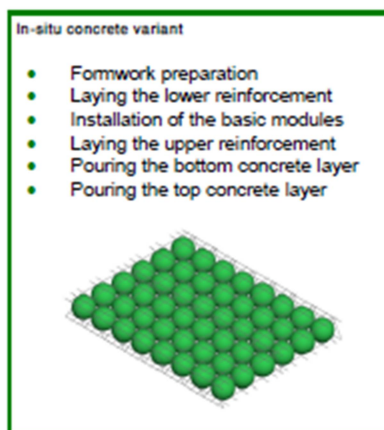
According to the general building supervisory authority test certification P-SAC 02/IV-065, MFPA Leipzig e.V.:

| Evaluated sound reduction index $R_{wv}$ | Equivalent evaluated standard footstep sound level $L_{nw,eq,fl}$ | Slab thickness | Ball size |
|--|---|----------------|-----------|
| 55 dB                                    | 77 dB   | 23 cm          | 18 cm     |
| 57 dB                                    | 73 dB   | 34 cm          | 27 cm     |

## 7 PROCEDURE

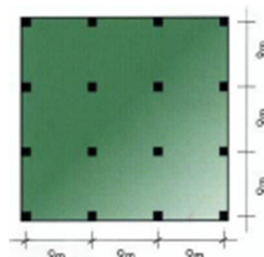


## 8 EXECUTION SEQUENCE



## 9 EXAMPLE

|                         |   |
|-------------------------|---|
| System:                 | Locally supported slab with three fields in each direction                      |
| Span:                   | 9 m x 9 m   |
| Load:                   | imposed floor load 5 kN/m <sup>2</sup><br>additional load 1.5 kN/m <sup>2</sup> |
| Construction materials: | C45/55 concrete, BSt 500 S reinforcing steel                                    |
| Slab thickness:         | 35 cm   |



Selected ball size: 27 cm => technical specifications as per 3  
 Determination of intrinsic load:  $0.35 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 2.86 \text{ kN/m}^2 = 5.89 \text{ kN/m}^2$

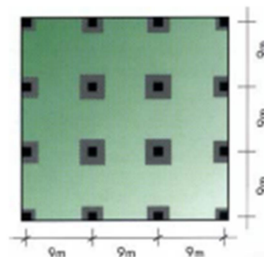
Deformation estimate: Taking a rigidity factor of 0.87 into account:

- Deformation in State I with 30 % of the imposed floor load:  $f_{I,1} = 7.4 \text{ mm}$
- Deformation in State I from intrinsic load:  $f_{I,2} = 4.8 \text{ mm}$
- Deformation in State II taking shares of time-dependent deformation into account:  
 $f_{II,1} = 7.4 \text{ mm} \cdot 4 = 29.6 \text{ mm}$   
 $f_{II,2} = f_{II,1} - f_{I,2} = 25 \text{ mm} \leq 12.7 / 500 = 25 \text{ mm}$

Transverse-force verification:

Limit value for solid slab (MD):  
 $V_{Rd,ct} \text{ (MD)} = 0.134 \text{ MN/m}$

Limit value for BubbleDeck® (CB):  
 $V_{Rd,ct} \text{ (CB)} = 0.60 \cdot 0.134 \text{ MN/m} = 0.080 \text{ MN/m}$



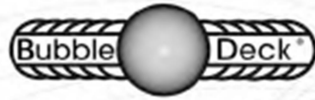
Zones with a transverse force  $\geq 0.080 \text{ MN/m}$  must be solid

Bending-strength design: According to an FE calculation (e.g. FEM-Tripla, Dr. Tomow), the maximum design value for the bending moment is 152 kNm/m

Relative bending moment according to 4:  
 $\mu_{sds} = 0.152 \cdot 0.27 \cdot 1.96 / (0.3^3 \cdot 45) = 0.066 \leq 0.2$

Design can be performed with conventional methods.





## **BubbleDeck Voided Flat Slab Solutions**



**Technical Paper**

**BubbleDeck® Span Guide**

**August 2006**  
Revision 6.3 January 2009



## BubbleDeck Maximum Indicative Spans

The appropriate BubbleDeck slab version is bespoke engineered to suit building configuration, span length between supports, applied loadings and vertical alignment of supports. Indicative spans are given as a guide to what can be achieved.

Maximum spans indicated are based on 20mm concrete cover to bottom rebar (1 hour fire resistance); live load 3+1 kN/m<sup>2</sup>, dead load 1.5 kN/m<sup>2</sup> and lightweight external envelope maximum 8 kN/m line load. Completed slab mass and Site Concrete Quantity based on 3 metre x 9 metre pre-cast elements with 51 kg/m<sup>2</sup> total reinforcement.

| Version        | Slab Thickness | Bubbles | Span (Multiple bays) | Cantilever Maximum Length | Span (Single bays) | Completed Slab Mass | Site Concrete Quantity         |
|----------------|----------------|---------|----------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|
|                | mm             | mm      | metres               | metres                    | metres             | kN/m <sup>2</sup>   | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> |
| <b>BD230</b>   | 230            | Ø 180   | 5 – 8.3              | ≤ 2.8                     | 5 – 6.5            | 4.34                | 0.109                          |
| <b>BD280</b>   | 280            | Ø 225   | 7 – 10.1             | ≤ 3.3                     | 6 – 7.8            | 5.17                | 0.142                          |
| <b>BD340</b>   | 340            | Ø 270   | 9 – 12.5             | ≤ 4.0                     | 7 – 9.5            | 6.25                | 0.186                          |
| <b>BD390</b>   | 390            | Ø 315   | 11 – 14.4            | ≤ 4.7                     | 9 – 10.9           | 6.93                | 0.213                          |
| <b>BD450</b>   | 450            | Ø 360   | 13 – 16.4            | ≤ 5.4                     | 10 – 12.5          | 7.94                | 0.245                          |
| <b>BD510 *</b> | 510            | Ø 410   | 15 – 18.8            | ≤ 6.1                     | 11 – 13.9          | 9.06                | 0.291                          |
| <b>BD600 *</b> | 600            | Ø 500   | 16 – 21.0            | ≤ 7.2                     | 12 – 15.0          | 10.22               | 0.338                          |

\* New 2006 BubbleDeck slab configurations: Agrément certification pending, outside scope of KOMO technical certificate.



## Schematic Design Basic Principle

As a general guide for project scoping purposes at feasibility stage the maximum achievable spans for each BubbleDeck slab depth is usually determined by deflection limitations. This criteria is controlled by the ratio of span / effective depth (L/d) stipulated in BS8110 or EC2 and modified by applying a factor of approximately 1.5, permitted by these Standards to take account of BubbleDeck's dramatically lower dead weight than traditional solid flat slabs.

### BubbleDeck Span / Depth ratios (R)

$L/d \leq 30$  for simply supported floors (Single Bay Rows) \*<sup>1</sup>

$L/d \leq 41$  for continuously supported floors (Multiple Spans) \*<sup>2</sup>



$L/d \leq 13.0$  for cantilevers.

This basic principle has been verified for up to 4.5 kPa live + 1.5 kPa dead uniformly distributed loadings following full calculation and proven by full finite element analysis modelling to provide a generally reliable indication.

**Notes**

\*1 Single Bay Rows refers to primary single span in one direction with multiple spans in other direction. \*2 Multiple Spans refers to multiple bays in both directions.

Firstly, to determine the span dimension (L) in the case of spanning onto columns without beams (flat slab construction) take the longest span dimension (in metres) between column centres, where the slab will span onto walls or beams take the shortest span dimension (in metres) between the walls or beams.

Then, to determine the effective depth (d) of a BubbleDeck slab use the table below to find either approximate required total concrete cover ( $c^{\dagger}$ ); or approximate effective depth (d) for different levels of fire resistance. Effective depth is the overall depth less nominal concrete cover to all reinforcement for durability and fire resistance purposes (from bottom mesh reinforcement underside to bottom of slab) and approximately half overall depth of bottom mesh reinforcement. Actual effective depth required for any project is determined from a combination of required fire resistance, durability classification, reinforcement quantity and stress levels – so this estimation method is only an approximate guide.

| Version | Approximate Total Cover & Effective Depth Data |   |             |           |                                      |             |           |
|---------|--|---|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-----------|
|         | Slab Thickness                                 | BubbleDeck Slabs Total Concrete Cover ( $c^{\dagger}$ ) |             |           | BubbleDeck Slabs Effective Depth (d) |             |           |
|         |  | 1 Hour FR   | 1.5 Hour FR | 2 Hour FR | 1 Hour FR                            | 1.5 Hour FR | 2 Hour FR |
|         | mm   | mm  | mm          | mm        | mm                                   | mm          | mm        |
| BD230   | 230  | 34  | 39          | 44        | 196                                  | 191         | 186       |
| BD280   | 280  | 34  | 39          | 44        | 246                                  | 241         | 236       |
| BD340   | 340  | 36  | 41          | 46        | 304                                  | 299         | 294       |
| BD390   | 390  | 44  | 49          | 54        | 346                                  | 341         | 336       |
| BD450   | 450  | 49  | 54          | 59        | 401                                  | 396         | 391       |
| BD510   | 520  | 49  | 54          | 59        | 461                                  | 456         | 451       |
| BD600   | 600  | 49  | 54          | 59        | 551                                  | 546         | 541       |

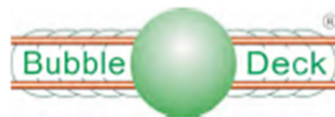
Table based on nominal concrete cover of 20mm for 1 hour FR, 25mm for 1.5 hour FR and 30mm for 2 hour FR with mild exposure (internal concrete surfaces) condition.

**Note:** For externally exposed slabs, such as car parking decks, reduce the effective depth given for 1 Hour Fire Resistance by an additional 15mm to allow minimum 35mm nominal concrete cover below bottom reinforcement to meet durability requirements.

Finally either:

a) **BubbleDeck slab depth for given Spans:** when the required span dimension is known divide span dimension (L) in metres into the span/effective depth ratio (R) for the appropriate slab configuration given above; then add on the required total concrete cover ( $c^{\dagger}$ ) from the table to arrive at the minimum BD voided slab thickness. The required BubbleDeck slab type is the next size up from the minimum BD voided slab thickness.

As an example for a 9 metre span between columns with multiple spans and requiring 1.5 hour fire resistance, span / effective depth ratio (R) will be 41, so 9 metres/41 = 219mm,



then adding (c<sup>1</sup>) of 39 mm (for 1.5 hour FR in relevant range) indicates a minimum BD voided slab thickness of 258mm – requiring BD280 slab type for this span condition.

**b) Approximate span for given BubbleDeck slab depth:** to determine an indicative possible maximum span for a given slab depth multiply the relevant Effective Depth (d) by the span/effective depth ratio (R) for the appropriate slab configuration given above.

As an example for BD280 slab version, with 1.5 hour fire resistance, (d) is 241 mm so 41xd indicates a maximum 9.88 metre continuously supported (multiple bay) span; 30xd indicates a maximum 7.23 metre simply supported (single bay) span, and 12.5xd indicates a maximum 3.01 metre cantilever is potentially feasible.

We can confirm this estimation method by undertaking preliminary calculations and we would be pleased to give you advice on a specific project.

## Post Tensioned BubbleDeck Slabs

When mega spans are required (above 15 metres) we can provide a Post-Tensioned (PT) BubbleDeck solution incorporated into our BD390 to BD600 slab range. The above span / depth ratios can be increased by a further 15% to 30% with post – tensioned BubbleDeck slabs.

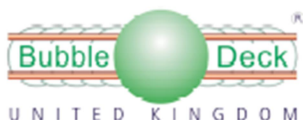
## BubbleDeck Slab Calculator

For more refined preliminary design we can provide a CD-Rom containing our BubbleDeck slab calculator – contact us for details.



**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
Facsimile: +44 (0)1534 739115  
E-Mail: [info@BubbleDeck-UK.com](mailto:info@BubbleDeck-UK.com)  
[www.BubbleDeck-UK.com](http://www.BubbleDeck-UK.com)

Revision B 5<sup>th</sup> January 2007



## BubbleDeck Maximum Span Guide Span - Depth Summary Table For Multiple (Continuous) Span Condition

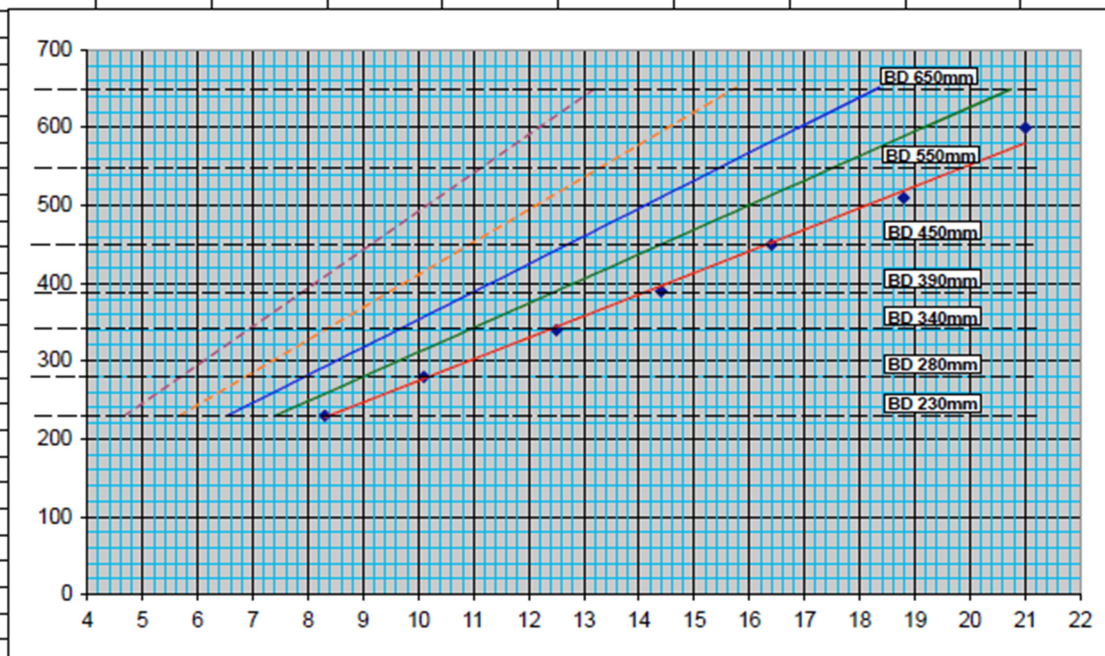
Span/depth for various thicknesses, taken from previous results:

**Continuous spans:**

(two or more spans in relevant direction)

Total Imposed Dead + Live Load: 2.5 kPa    5.0 kPa    7.5 kPa    10.0 kPa    12.5 kPa (excl slab weight)

| h<br>(mm) | d<br>(mm) | L <sub>2.5</sub><br>(m) | L <sub>5</sub><br>(m) | L <sub>7.5</sub><br>(m) | L <sub>10.0</sub><br>(m) | L <sub>12.5</sub><br>(m) |
|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 230       | 196       | 8.3                     | 7.4                   | 6.5                     | 5.6                      | 4.7                      |
| 280       | 246       | 10.1                    | 9.0                   | 7.9                     | 6.8                      | 5.7                      |
| 340       | 304       | 12.5                    | 10.9                  | 9.6                     | 8.3                      | 6.9                      |
| 390       | 346       | 14.4                    | 12.5                  | 11.0                    | 9.5                      | 7.9                      |
| 450       | 401       | 16.4                    | 14.4                  | 12.7                    | 10.9                     | 9.2                      |
| 550       | 501       | 19.8                    | 17.5                  | 15.4                    | 13.3                     | 11.1                     |
| 650       | 601       | 22.9                    | 20.7                  | 18.3                    | 15.7                     | 13.2                     |



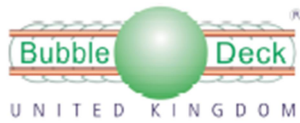
**KEY**

Solid Lines - Data from FE maximum span calculation results up to BD450, interpolated above  
Dashed Lines - Interpolated from lower loadings

© BubbleDeck UK (2008) Ltd.

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

Revision 6.3 15/1/09



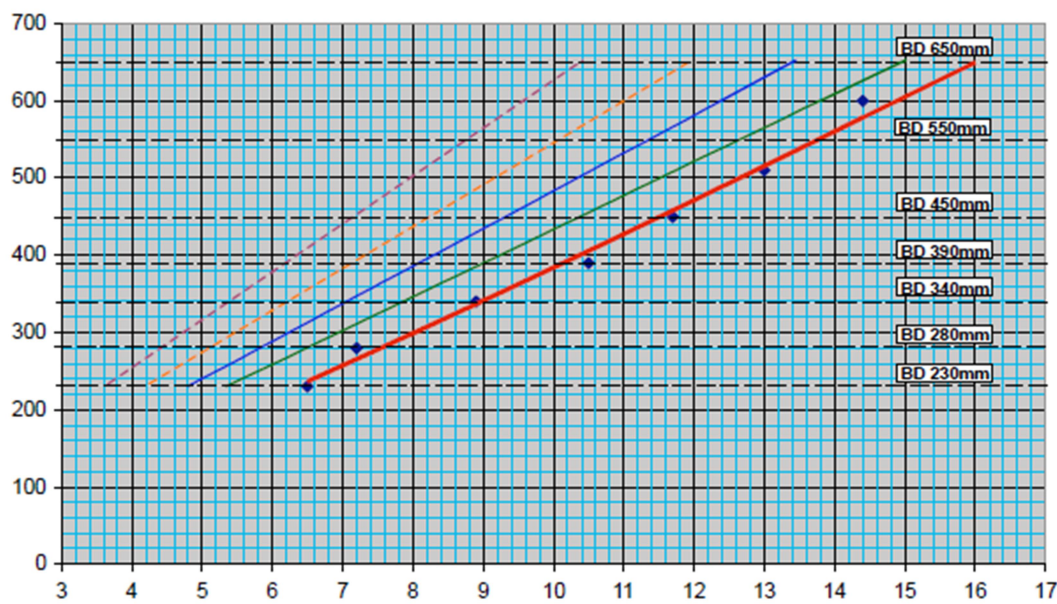
## BubbleDeck Maximum Span Guide Span - Depth Summary Table For Single (One Bay) Span Condition

**Single spans:**

(one span between columns in relevant direction)

Total Imposed Dead + Live Load: 2.5 kPa 5.0 kPa 7.5 kPa 10.0 kPa 12.5 kPa (excl slab weight)

| h<br>(mm) | d<br>(mm) | L <sub>2.5</sub><br>(m) | L <sub>5</sub><br>(m) | L <sub>7.5</sub><br>(m) | L <sub>10.0</sub><br>(m) | L <sub>12.5</sub><br>(m) |
|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 230       | 196       | 6.5                     | 5.3                   | 4.8                     | 4.2                      | 3.7                      |
| 280       | 246       | 7.2                     | 6.5                   | 5.8                     | 5.2                      | 4.5                      |
| 340       | 304       | 8.9                     | 7.9                   | 7.1                     | 6.2                      | 5.4                      |
| 390       | 346       | 10.5                    | 9.0                   | 8.1                     | 7.2                      | 6.3                      |
| 450       | 401       | 11.7                    | 10.4                  | 9.3                     | 8.2                      | 7.2                      |
| 550       | 501       | 13.8                    | 12.6                  | 11.4                    | 10.1                     | 8.8                      |
| 650       | 601       | 16.0                    | 15.0                  | 13.4                    | 11.9                     | 10.4                     |



**KEY**

Solid Lines - Data from FE maximum span calculation results up to BD450, interpolated above  
Dashed Lines - Interpolated from lower loadings

© BubbleDeck UK (2008) Ltd.

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

Revision 6.3 15/1/09



## BubbleDeck Maximum Span Guide Simple & FE Calculation Results (Continuous Spans)

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

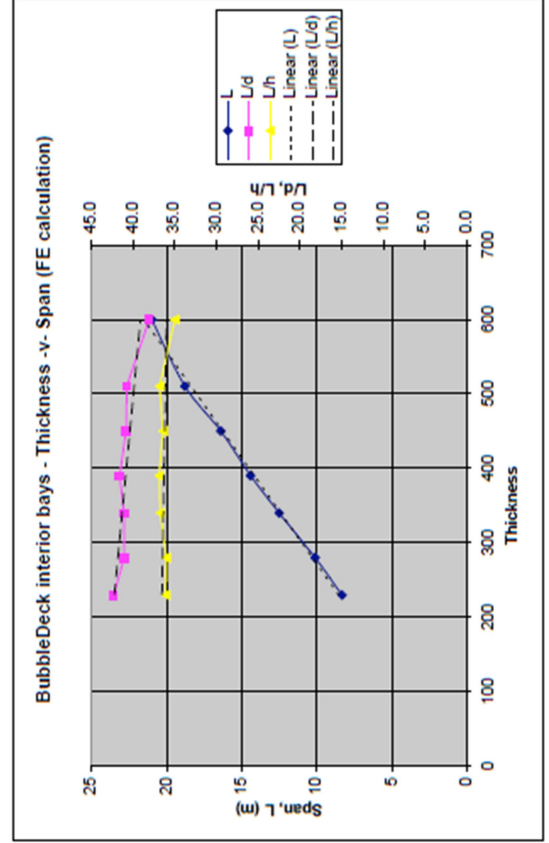
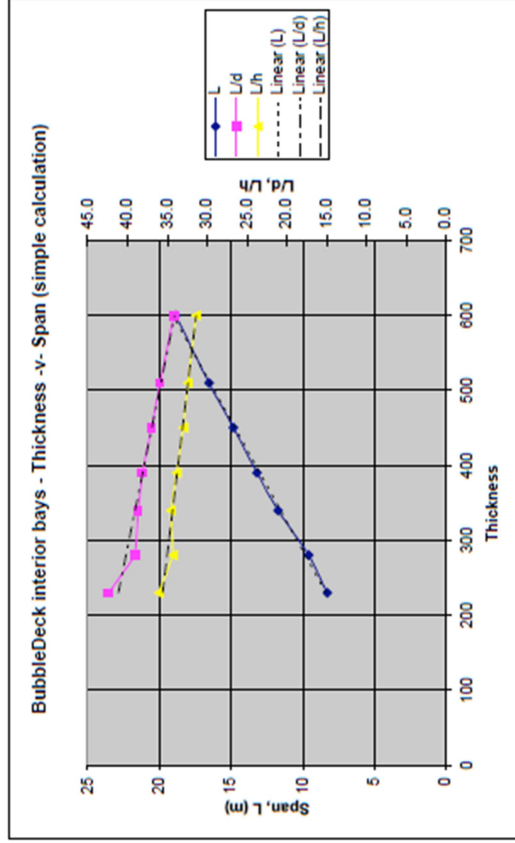
### Inner bays - simple calculation:

| h   | L     | Ly   | d   | L/d  | L/h  |
|-----|-------|------|-----|------|------|
| 230 | 8.3   | 5.4  | 186 | 42.3 | 36.1 |
| 280 | 9.8   | 6.3  | 248 | 39.0 | 34.3 |
| 340 | 11.75 | 8.3  | 304 | 38.7 | 34.6 |
| 390 | 13.2  | 9.6  | 348 | 38.2 | 33.8 |
| 450 | 14.85 | 10.5 | 401 | 37.0 | 33.0 |
| 510 | 16.55 | 12   | 481 | 35.9 | 32.5 |
| 600 | 18.85 | 12   | 551 | 34.2 | 31.4 |

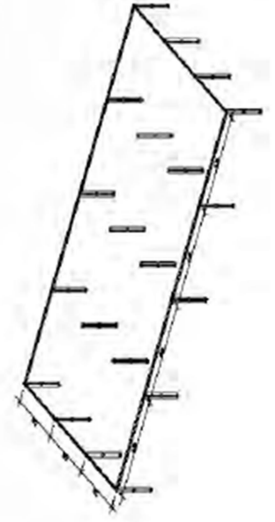
### Inner bays - FE calculation:

| h   | L    | Ly   | d   | L/d  | L/h  |
|-----|------|------|-----|------|------|
| 230 | 8.3  | 5.4  | 186 | 42.3 | 36.1 |
| 280 | 10.1 | 6.3  | 248 | 41.1 | 36.1 |
| 340 | 12.5 | 8.3  | 304 | 41.1 | 36.8 |
| 390 | 14.4 | 9.6  | 348 | 41.6 | 36.9 |
| 450 | 16.4 | 10.5 | 401 | 40.8 | 36.4 |
| 510 | 18.8 | 12   | 481 | 40.8 | 36.9 |
| 600 | 21   | 12   | 551 | 38.1 | 35.0 |

Creep included. Shrinkage excluded.  
Cracked section, non linear analysis.



### Basic Geometry





## BubbleDeck Maximum Span Guide Simple & FE Calculation Results (Single Row with Continuous Bays)

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, CI., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

### Single row continuous bays - simple calculation:

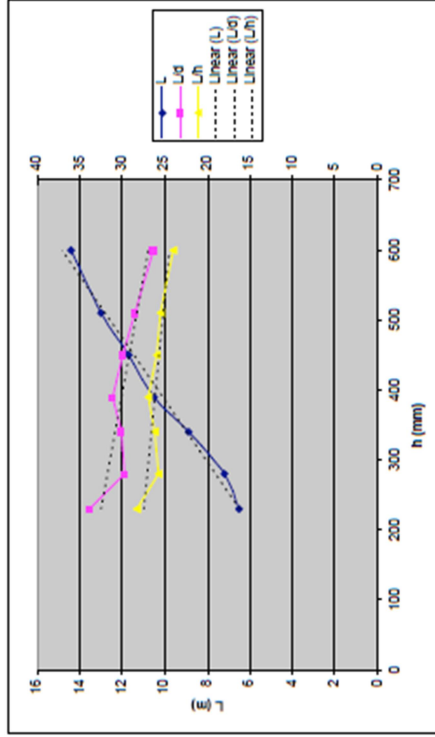
| h   | L    | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L/h |
|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| 230 | 6.5  | 4.5            | 192            | 33.9           | 28.3           | 0.0 |
| 280 | 7.2  | 4.8            | 242            | 29.8           | 25.7           | 0.0 |
| 340 | 8.9  | 5.9            | 296            | 30.1           | 26.2           | 0.0 |
| 390 | 10.5 | 7              | 337            | 31.2           | 26.9           | 0.0 |
| 450 | 11.7 | 7.8            | 391            | 29.9           | 26.0           | 0.0 |
| 510 | 13   | 8.7            | 456            | 28.5           | 25.5           | 0.0 |
| 600 | 14.4 | 9.6            | 546            | 26.4           | 24.0           | 0.0 |

### Single row continuous bays - FE calculation

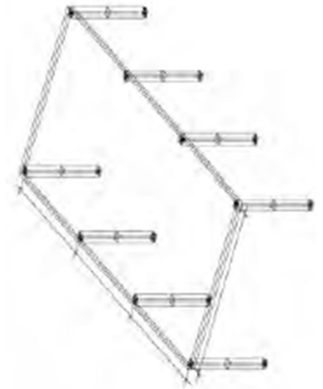
| h   | L    | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L/h | Δ <sub>sup</sub> | Δ <sub>int</sub> | Δ <sub>sp</sub> | Δ <sub>sup</sub> | L/Δ <sub>sp</sub> | L/Δ <sub>int</sub> | L/Δ <sub>sp</sub> | L/Δ <sub>int</sub> |
|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 230 | 6.5  | 4.5            | 192            | 33.9           | 28.3           | 0.0 | 24               | 26               | 13              | 15               | 275               | 446                | 12                | 10                 |
| 280 | 7.2  | 4.8            | 242            | 29.8           | 25.7           | 0.0 | 28               | 27               | 15              | 12               | 261               | 591                | 15                | 12                 |
| 340 | 8.9  | 5.9            | 296            | 30.1           | 26.2           | 0.0 | 31               | 32               | 19              | 14               | 284               | 637                | 18                | 14                 |
| 390 | 10.5 | 7              | 337            | 31.2           | 26.9           | 0.0 | 45               | 42               | 27              | 16               | 232               | 672                | 24                | 19                 |
| 450 | 11.7 | 7.8            | 391            | 29.9           | 26.0           | 0.0 | 48               | 43               | 29              | 15               | 245               | 804                | 27                | 25                 |
| 510 | 13   | 8.7            | 456            | 28.5           | 25.5           | 0.0 | 53               | 47               | 32              | 15               | 246               | 869                | 31                | 27                 |
| 600 | 14.4 | 9.6            | 546            | 26.4           | 24.0           | 0.0 | 63               | 57               | 40              | 17               | 227               | 829                | 37                | 31                 |

| h   | L    | L <sub>d</sub> | L/h  |
|-----|------|----------------|------|
| 230 | 6.5  | 33.9           | 28.3 |
| 280 | 7.2  | 29.8           | 25.7 |
| 340 | 8.9  | 30.1           | 26.2 |
| 390 | 10.5 | 31.2           | 26.9 |
| 450 | 11.7 | 29.9           | 26.0 |
| 510 | 13   | 28.5           | 25.5 |
| 600 | 14.4 | 26.4           | 24.0 |

Creep included. Shrinkage excluded.  
Cracked section, non linear analysis.  
Most deflections within or acceptably close to limits  
(L/250 and L/500).



### Basic Geometry



Shaded cases as above  
Shaded cases governed by long term load (by inspection of previous above).

### Single row continuous bays - FE calculation

| h   | L    | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L/h | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | L/h | L <sub>y</sub> | L <sub>d</sub> | Δ <sub>sup</sub> | Δ <sub>int</sub> | Δ <sub>sp</sub> | Δ <sub>sup</sub> | L/Δ <sub>sp</sub> | L/Δ <sub>int</sub> |
|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 230 | 6.5  | 4.5            | 192            | 33.9           | 28.3           | 0.0 | 24             | 26             | 13  | 15             | 275            | 446              | 12               | 10              | 275              | 446               |                    |
| 280 | 7.2  | 4.8            | 242            | 29.8           | 25.7           | 0.0 | 28             | 27             | 15  | 12             | 261            | 591              | 15               | 12              | 261              | 591               |                    |
| 340 | 8.9  | 5.9            | 296            | 30.1           | 26.2           | 0.0 | 31             | 32             | 19  | 14             | 284            | 637              | 18               | 14              | 284              | 637               |                    |
| 390 | 10.5 | 7              | 337            | 31.2           | 26.9           | 0.0 | 45             | 42             | 27  | 16             | 232            | 672              | 24               | 19              | 232              | 672               |                    |
| 450 | 11.7 | 7.8            | 391            | 29.9           | 26.0           | 0.0 | 48             | 43             | 29  | 15             | 245            | 804              | 27               | 25              | 245              | 804               |                    |
| 510 | 13   | 8.7            | 456            | 28.5           | 25.5           | 0.0 | 53             | 47             | 32  | 15             | 246            | 869              | 31               | 27              | 246              | 869               |                    |
| 600 | 14.4 | 9.6            | 546            | 26.4           | 24.0           | 0.0 | 63             | 57             | 40  | 17             | 227            | 829              | 37               | 31              | 227              | 829               |                    |





## BubbleDeck Maximum Span Guide Simple & FE Calculation Results (Single bay both directions)

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

### Single bay - simple calculation:

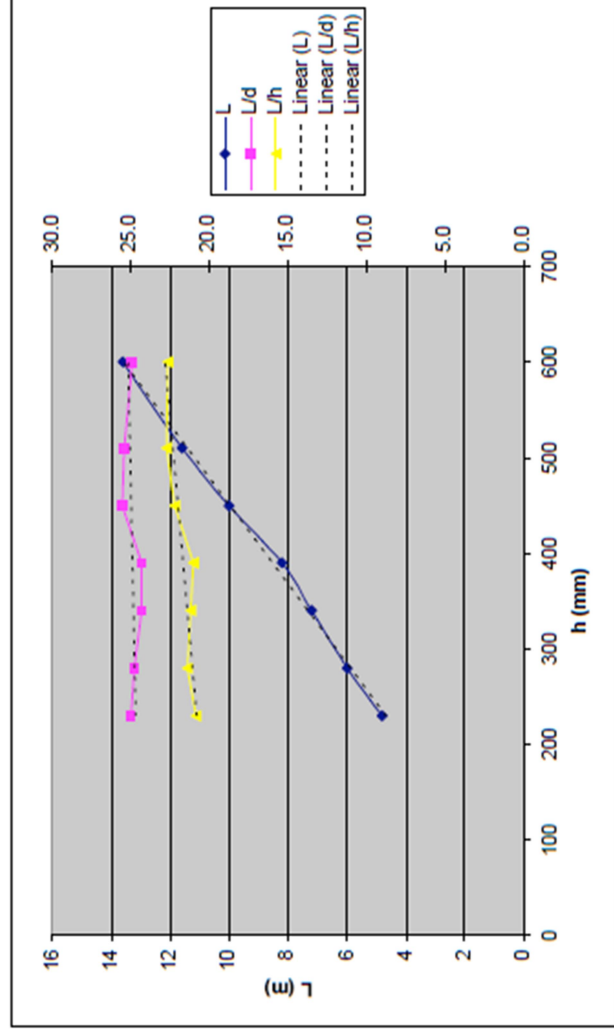
| h   | L    | L <sub>y</sub> | d   | L/d  | L/h  |
|-----|------|----------------|-----|------|------|
| 230 | 4.8  | 4.8            | 192 | 25.0 | 20.9 |
| 280 | 6    | 6              | 242 | 24.8 | 21.4 |
| 340 | 7.2  | 7.2            | 296 | 24.3 | 21.2 |
| 390 | 8.2  | 7.2            | 337 | 24.3 | 21.0 |
| 450 | 9.3  | 7.2            | 391 | 23.8 | 20.7 |
| 510 | 10.6 | 7.2            | 456 | 23.2 | 20.8 |
| 600 | 12.8 | 7.2            | 546 | 23.4 | 21.3 |

### Single bay - FE calculation:

| h   | L    | L <sub>y</sub> | d   | L/d  | L/h  | Δ <sub>GP</sub> | Δ <sub>PH</sub> | Δ <sub>P</sub> | Δ <sub>PH+P</sub> | L/Δ <sub>GP</sub> | L/Δ | Δ <sub>Age</sub> | Precamb. | Δ <sub>GP</sub> | Δ <sub>PH</sub> |
|-----|------|----------------|-----|------|------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|-----|------------------|----------|-----------------|-----------------|
| 230 | 4.8  | 4.8            | 192 | 25.0 | 20.9 | 15              | 17              | 7              | 10                | 311               | 467 | 8                | 20       | -5              | -3              |
| 280 | 6    | 6              | 242 | 24.8 | 21.4 | 22              | 23              | 11             | 12                | 270               | 487 | 11               | 25       | -3              | -2              |
| 340 | 7.2  | 7.2            | 296 | 24.3 | 21.2 | 30              | 31              | 16             | 15                | 243               | 490 | 14               | 30       | 0               | 1               |
| 390 | 8.2  | 8.2            | 337 | 24.3 | 21.0 | 33              | 33              | 19             | 15                | 245               | 554 | 15               | 35       | -2              | -2              |
| 450 | 10   | 8.2            | 391 | 25.6 | 22.2 | 38              | 36              | 22             | 14                | 261               | 722 | 16               | 40       | -2              | -4              |
| 510 | 11.6 | 8.2            | 456 | 25.4 | 22.7 | 48              | 42              | 26             | 16                | 244               | 742 | 21               | 50       | -2              | -8              |
| 600 | 13.6 | 8.2            | 546 | 24.9 | 22.7 | 63              | 55              | 38             | 17                | 217               | 797 | 25               | 60       | -2              | -5              |

| h   | L    | L <sub>y</sub> | d   | L/d  | L/h  |
|-----|------|----------------|-----|------|------|
| 230 | 4.8  | 4.8            | 192 | 25.0 | 20.9 |
| 280 | 6    | 6              | 242 | 24.8 | 21.4 |
| 340 | 7.2  | 7.2            | 296 | 24.3 | 21.2 |
| 390 | 8.2  | 8.2            | 337 | 24.3 | 21.0 |
| 450 | 10   | 8.2            | 391 | 25.6 | 22.2 |
| 510 | 11.6 | 8.2            | 456 | 25.4 | 22.7 |
| 600 | 13.6 | 8.2            | 546 | 24.9 | 22.7 |

Creep included. Shrinkage excluded.  
Cracked section, non linear analysis.  
Most deflections within or acceptably close to limits  
(L/250 and L/500).  
Worst possible case one bay with corner columns.





## BubbleDeck Maximum Span Guide Simple & FE Calculation Results (Cantilevers)

**BubbleDeck UK**  
White Lodge, Wellington Road,  
St. Saviour, JERSEY, C.I., JE2 7TE  
Telephone: +44 (0)1534 725402  
E-Mail: info@BubbleDeck-UK.com  
www.BubbleDeck-UK.com

### Cantilever - simple calculation for $L/d=10$ :

| h   | L | L <sub>y</sub> | d   | L/d | L/h |
|-----|---|----------------|-----|-----|-----|
| 230 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 280 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 340 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 390 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 450 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 510 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 600 | 0 | N/A            | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

### Cantilever - FE calculation for $L/h=10$

| h   | L <sub>C*</sub> | L    | L <sub>y</sub> | d   | L/d  | L/h  | Δ <sub>GP</sub> | Δ <sub>P-1</sub> | Δ <sub>P</sub> | Δ <sub>WIP-IP</sub> | L/Δ <sub>GP</sub> | L/Δ <sub>i</sub> |
|-----|-----------------|------|----------------|-----|------|------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 230 | 2.3             | 6.5  | 4.5            | 196 | 11.7 | 10.0 | 9               | 7                | 5              | 2                   | 707               | 3824             |
| 280 | 2.8             | 7.2  | 4.8            | 244 | 11.5 | 10.0 | 7               | 3                | 4              | -1                  | 1068              | 7273             |
| 340 | 3.4             | 8.9  | 5.9            | 309 | 11.0 | 10.0 | 8               | 6                | 4              | 3                   | 1184              | 3450             |
| 390 | 3.9             | 10.5 | 7              | 360 | 10.8 | 10.0 | -12             | -8               | -5             | -2                  | 890               | 4730             |
| 450 | 4.5             | 11.7 | 7.8            | 410 | 11.0 | 10.0 | -10             | -7               | -6             | -1                  | 1181              | 15395            |
| 510 | 5.1             | 13   | 8.7            | 469 | 10.9 | 10.0 | -8              | -4               | -5             | 1                   | 1582              | 10833            |
| 600 | 6               | 14.4 | 9.6            | 562 | 10.7 | 10.0 | -16             | -9               | -10            | 0                   | 918               | 18000            |

\*L<sub>C</sub> taken from column centre

Creep included. Shrinkage excluded.

Cracked section, non linear analysis.

All results comfortably within limits for  $L/h=10$

### Cantilever - FE calculation for $L/h=12$

| h   | L <sub>C*</sub> | L    | L <sub>y</sub> | d   | L/d  | L/h  | Δ <sub>GP</sub> | Δ <sub>P-1</sub> | Δ <sub>P</sub> | Δ <sub>WIP-IP</sub> | L/Δ <sub>GP</sub> | L/Δ <sub>i</sub> |
|-----|-----------------|------|----------------|-----|------|------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 230 | 2.76            | 6.5  | 4.5            | 196 | 14.1 | 12.0 | 26              | 22               | 16             | 6                   | 248               | 1009             |
| 280 | 3.36            | 7.2  | 4.8            | 244 | 13.8 | 12.0 | 23              | 22               | 16             | 7                   | 307               | 1070             |
| 340 | 4.08            | 8.9  | 5.9            | 309 | 13.2 | 12.0 | 30              | 27               | 18             | 9                   | 296               | 947              |
| 390 | 4.68            | 10.5 | 7              | 360 | 13.0 | 12.0 | 11              | 10               | 6              | 4                   | 993               | 2471             |
| 450 | 5.4             | 11.7 | 7.8            | 410 | 13.2 | 12.0 | 19              | 18               | 11             | 8                   | 617               | 1550             |
| 510 | 6.12            | 13   | 8.7            | 469 | 13.0 | 12.0 | 29              | 29               | 18             | 12                  | 455               | 1117             |
| 600 | 7.2             | 14.4 | 9.6            | 562 | 12.8 | 12.0 | 24              | 26               | 15             | 11                  | 599               | 1328             |

\*L<sub>C</sub> taken from column centre

Creep included. Shrinkage excluded.

Cracked section, non linear analysis.

Absolute value of deflection is becoming more important.

Rebar concentration becoming critical.