

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD

KATEDRA MECHANIKY

STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ – MODERNÍ BUDOVY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**NÁVRH A ANALÝZA SYSTÉMU PRO RECYKLACI
ODPADNÍCH VOD**

Plzeň 2024

Bc. David Vondrovic

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. David VONDROVIC**
Osobní číslo: **A21N0106P**
Studijní program: **N0732P260002 Stavební inženýrství – Moderní budovy**
Specializace: **Navrhování a provádění budov**
Téma práce: **Návrh a analýza systému pro recyklaci odpadních vod**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

Obsah práce: Definice odpadních vod, analýza možností využití odpadních vod, způsoby čištění, koncepce a návrh modelového systému pro moderní budovy a referenční stavbu, stavební požadavky a řešení, ekonomicko-ekologické posouzení.

Cíl práce: Předmětem práce je návrh modelové soustavy pro recyklaci a využití odpadních vod pro moderní budovy, požadavky na stavební řešení a objekty, zhodnocení z ekonomicko-ekologického hlediska.

Zásady pro vypracování:

- Úvod – cíle práce, motivace k vypracování, postup vyhotovení.
- Teoretická část – odpadní vody, jímání, distribuce a úprava kvality, využití, stavební řešení.
- Praktická část – referenční stavba jako příklad moderní budovy, koncepce a návrh systému, ekonomicko-ekologické posouzení, vyhodnocení stanovených cílů.
- Závěr – koncepce pro moderní budovy celkové zhodnocení, shrnutí získaných poznatků.

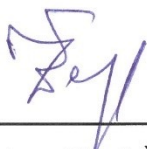
Rozsah diplomové práce: **úvodní část – 50 – 60 stran A4**
Rozsah grafických prací: **textová zpráva, fyzikální a ekonomické výpočty, nákresy, grafy**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. Dokumentace referenční stavby
2. Obecně technické požadavky pro stavby
3. Platné normy a předpisy pro navrhování vodovodů a kanalizací
4. Podklady výrobců vybraných komponentů, příklady staveb

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **11. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2024**



Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 11. října 2023

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a dalších zdrojů, jež jsou v rámci tohoto dokumentu uvedeny. Práce byla vyhotovena za pomoci licencovaných softwarů, případně softwarů s platnou studentskou licenci.

V Plzni dne 31.05.2024

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Lud'ku Vejvarovi, Ph. D., za odborné vedení práce, Ing. arch. Oldřichu Hyskovi za podporu a poskytnutí technického zázemí pro vyhotovení práce a v neposlední řadě také celé své rodině v čele s Michaelou Fikrlovou a Annou Vondrovicovou.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá možnostmi recyklace a využití odpadních vod ve stavebnictví, technickým návrhem konkrétní soustavy a jejím posouzením z ekonomicko-ekologického hlediska. Posouzení soustavy bude provedeno v rámci vlastního návrhu referenčního souboru obytných budov většího rozsahu.

Klíčová slova:

kanalizace, odpadní vody, šedé vody, recyklace vody, čištění vody, ekologie, využití odpadních vod, vysokoškolské ubytování, Západočeská univerzita, koleje

ANOTATION

The thesis deals with the possibilities of recycling and recovery of wastewater in the construction industry, the technical design of a particular system and its assessment from an economic-ecological point of view. The assessment of the system will be carried out as part of the actual design of a reference set of larger-scale residential buildings.

Keywords:

sewerage, sewage, grey water, water recycling, water treatment, ecology, wastewater recovery, university accommodation, University of West Bohemia, colleges

ABSTRAKT

Cílem práce byla analýza možností vedoucích k úsporám pitné vody v návaznosti na současné prognózy její budoucí dostupnosti a zvyšující se podíl suchých období. V rámci praktické části práce byla provedena optimalizace recyklačního systému odpadních vod pro navrhovanou referenční stavbu bytového charakteru. Výsledný návrh byl následně podroben ekologicko-ekonomickému posouzení s cílem stanovení výše úspory dodávek pitné vody s přiměřenou dobou návratnosti. Posouzení bylo provedeno pro čtyři základní návrhové stavy, zohledňující volitelné užití architektonických vegetačních prvků a z nich plynoucí požadavky na závlahovou vodu. Na základě provedených výpočtů byla pro navržený systém zjištěna 35% úspora ročních dodávek pitné vody s 17etou dobou návratnosti.

ABSTRACT

The aim of the work was to analyse the possibilities of saving drinking water following current forecasts of its future availability and the increasing share of dry periods. As part of the practical part of the work, the wastewater recycling system was optimised for the proposed residential reference building. The resulting proposal was subsequently subjected to an environmental-economic assessment in order to determine the level of savings in drinking water supplies with a reasonable return time. The assessment was carried out for four basic design states, taking into account the optional use of architectural vegetation elements and the resulting requirements for irrigation water. Based on the calculations made, a 35% saving in annual drinking water supplies was found for the proposed system, with a return time of 17 years.

OBSAH

1	Úvod	10
2	Teoretická část	12
2.1	Odpadní vody	12
2.1.1	Vznik odpadních vod	12
2.1.2	Klasifikace odpadních vod	12
2.1.3	Znečištění odpadních vod	14
2.1.4	Likvidace odpadních vod	17
2.2	Jímání a distribuce odpadních vod	19
2.2.1	Vývoj městské kanalizace	20
2.2.2	Stokové sítě	20
2.3	Možnosti využití odpadních vod	24
2.3.1	Druhy využívaných vod	24
2.3.2	Zdroje využívaných vod	25
2.3.3	Způsoby využití odpadních vod	27
2.4	Úprava kvality odpadních vod	28
2.4.1	Metody čištění	28
2.4.2	Čistírny odpadních vod	29
3	Praktická část	31
3.1	Popis referenční stavby	31
3.1.1	Základní charakteristika stavby	31
3.1.2	Umístění stavby	31
3.1.3	Architektonické řešení stavby	32
3.1.4	Provozní řešení stavby	33
3.2	Návrh systému recyklace odpadních vod	37
3.2.1	Záměr a celková koncepce	37
3.2.2	Vstupní údaje	37
3.2.3	Návrhové hodnoty	42
3.2.4	Jednotlivé části systému	42
3.3	Posouzení navrženého systému	48
3.3.1	Ekologické posouzení	49
3.3.2	Ekonomické posouzení	51
4	Závěr	55
	Použité zdroje	56
	Použitý software	60
	Seznam obrázků	60
	Seznam tabulek	60
	Seznam příloh	61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
ČOV	čistírna odpadních vod
NS	návrhový stav
NP	nadzemní podlaží
PP	podzemní podlaží

1 ÚVOD

Během posledních let jsme mohli stále častěji slyšet informace, či dokonce sami pocítit problémy, spojené s celosvětovým nárůstem suchých období a nedostatkem srážek. Střídání období sucha s obdobím nadměrného množství srážek je přirozeným jevem, nicméně poměr sucha vykazuje v posledních dvou desetiletích stoupající tendenci a ani budoucí prognózy nesvědčí o opaku (1). Tato skutečnost souvisí s globální změnou klimatu, jež lze považovat za trvalý stav, kterému bude potřeba se postupně přizpůsobit. Pitná, ale i užitková voda se tak v budoucnu může snadno stát vzácnou komoditou. Narůstající deficit půdní vlhkosti může z geografického hlediska znamenat pro Českou republiku značný problém, zejména díky absenci externího zdroje vody v podobě velké protékající řeky či objemné vodní plochy. Celé území je tudíž prakticky závislé na množství a četnosti srážek, ale také na akumulacích schopnostech krajiny. Jelikož průběh dešťů ovlivníme jen velmi těžce, nezbyvá než se zaměřit na efektivní a hospodárné využívání dostupných vodních zdrojů.

Jednou z oblastí, ve které lze dosáhnout zvýšení efektivity z hlediska nakládání s vodními zdroji, je provoz stavebních objektů. Vliv jednotlivých staveb na vodní zdroje se výrazně liší, v závislosti na jejich velikosti a účelu, ale také na způsobu likvidace znehodnocených odpadních vod. Obecně lze usoudit, že k nejvýznamnějším odběratelům vod řadíme zejména průmyslové a zemědělské stavby, ale také například veřejné bazény. U takových typů staveb je žádoucí, aby se v maximální možné míře omezilo používání pitné vody pro účely, u kterých to není potřebné. Vhodné je také jakékoli druhotné využití již zpracovaných vod, nebo využití vod srážkových. V případě průmyslových staveb je však důležité, jakou činností se daná společnost zabývá a na základě toho zohlednit charakter využívané vody pro konkrétní účel. Neopomenutelnou součástí efektivního využívání vodních zdrojů je také kvalita a způsob navrácení použitých vod zpět do přírody. Takové vody by v ideálním případě měly svým složením a vlastnostmi odpovídat vodám přirozeně se vyskytujícím. V současné době již máme na výběr z velkého množství nejrůznějších postupů a systémů, kterými lze docílit efektivnějšího využívání vodních zdrojů v oblasti stavitelství. Od těch nejzákladnějších, používaných již desítky let, až po ty sofistikovanější, využívající nových poznatků a pokročilých technologií moderní doby.

Požadavky na efektivnější využívání vodních zdrojů však nesouvisí pouze se snižováním negativního vlivu lidské činnosti na životní prostředí, ale mají potenciál zajištění finančních úspor v oblasti podnikání, průmyslové a zemědělské výroby či bydlení. V případě budoucí zhoršené dostupnosti či celkovém navýšení spotřeby vod, mohou být tyto úspory, mimo stanovené legislativní požadavky, pozitivní motivací pro širší zavedení systémů efektivnějšího využívání vodních zdrojů. Stanovení výše finančních úspor bude mimo jiné právě předmětem této práce.

Pro potřeby praktické části byl vyhotoven autorský návrh architektonické studie souboru pěti budov většího rozsahu. Jedná se o nový fiktivní areál vysokoškolského ubytovacího zařízení určený pro *Západočeskou Univerzitu v Plzni*. Navržené stavby jsou situovány na nezastavěný pozemek, sousedící se stávajícím univerzitním kampusem. V rámci návrhu stavby budou vhodně aplikovány poznatky, získané v teoretické části, na jejichž základě bude navržena modelová soustava pro využívání a efektivní nakládání s odpadními vodami. Následně bude provedeno ekonomicko-ekologické posouzení této soustavy.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 ODPADNÍ VODY

2.1.1 VZNIK ODPADNÍCH VOD

Odpadními vodami se dle § 38 *odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*, ve znění od 01.02.2022 rozumí takové vody, jež byly použity v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, přičemž byla po použití změněna jejich jakost, zahrnující složení a teplotu. Mezi odpadní vody dále řadíme jejich směsi se srážkovými vodami, jiné odtékající vody z těchto staveb, zařízení a dopravních prostředků, které mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod, průsakové vody vznikající při provozu skládek a odkladišť a vod odtékajících do vod důlních.

Mezi odpadní vody naopak nezahrnujeme veškeré vody, jež nejsou způsobily ohrozit kvalitu okolních povrchových a podzemních vod. Jedná se o nevyužité minerální vody z přírodních pramenů, průsakové vody zpětně využívané pro vlastní potřebu, vody odváděné z drenážních systémů, chladicí vody užívané na plavidlech a vodních turbínách, u kterých došlo pouze ke zvýšení teploty. Za odpadní vody se neuvažují ani srážkové vody odváděné z pozemních komunikací, u kterých je jejich znečištění závadnými látkami řešeno pomocí technických opatření, provedených dle *vyhlášky č. 104/1997 Sb. kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. (2)*

2.1.2 KLASIFIKACE ODPADNÍCH VOD

2.1.2.1 Srážkové vody

Srážkové vody samy o sobě nejsou klasifikovány jako vody odpadní, nicméně v případě jejich smísení s nežádoucími látkami v rámci odvodňovaných ploch, se odpadními vodami stávají. Srážkové vody rovněž považujeme za odpadní, jsou-li odváděny jednotnou kanalizační sítí společně s jiným typem odpadních vod, typicky se splaškovými odpadními vodami. Zdrojem srážkových vod jsou dopadající atmosférické srážky kapalného, či pevného skupenství, typicky reprezentované deštěm, sněhem nebo kroupami. Odvod srážkových vod z urbanizovaných území hraje zásadní roli při návrhu odvodňovacího systému měst, jelikož v rámci intenzivních dešťů či rychlého tání jejich objem převyšuje objem všech ostatních druhů odváděných vod. (3) (4)

2.1.2.2 *Splaškové vody*

Do splaškových vod řadíme veškeré odpadní vody použité v domácnostech, sociálních zařízeních a službách, jež jsou znehodnoceny lidskou činností. Srážkové vody, jsou-li odváděny samostatnou kanalizační sítí, a odpadní vody vzniklé při průmyslové výrobě díky obsahu odlišných znečišťujících látek, nezahrnujeme do kategorie splaškových odpadních vod. Splaškové vody lze dále dělit dle charakteru znečištění na takzvané vody černé a šedé. (5)

Charakteristickým rysem černých splaškových vod je obsah zbytkových látek lidského metabolismu, tj. fekálií a moči, které jsou dále označovány jako vody hnědé a žluté. Za šedé vody pak označujeme veškeré zbývající splaškové vody, neobsahující zmíněné organické zbytky. Jedná se například od odpadní vody ze sprch, umyvadel, myček nádobí nebo praček. Mgr. Michal Kraus dodává, že: „*V novějším pojetí se do šedých vod často nezařazuje odpadní voda z kuchyní, jelikož obsahuje velké množství hůře odstranitelných látek, jako jsou oleje a tuky.*“ Což platí zejména pro velkoobjemové kuchyně stravovacích zařízení, kde se setkáváme s výrazně větším množstvím výše zmíněných látek, které je obvykle potřeba separovat, ještě před vypuštěním do veřejné kanalizační sítě. Šedé odpadní vody lze dále rozdělit na tzv. světle a tmavě šedé. V případě světle šedých vod se jedná o odpadní vody s velmi nízkou mírou znečištění, kam typicky řadíme odtoky ze sprch, případně van a umyvadel. Tmavě šedé vody jsou pak analogicky odpadní vody s vyšší mírou znečištění, ke kterým řadíme odpadní vody vzniklé při mytí a praní. Odpadní vody vzniklé praním obvykle obsahují vyšší míru chemického znečištění, v závislosti na použitém pracím prostředku a zvýšený podíl pevných částic v podobě vláken či mikro plastů. Odpadní vody z kuchyní naopak obsahují výrazné biologické znečištění v podobě zbytků jídel a tuků. (6) (7)

2.1.2.3 *Průmyslové odpadní vody*

Průmyslové odpadní vody, jak už název napovídá, pocházejí z průmyslové výroby nebo zpracování surovin, ale řadí se k nim i odpadní vody z oblasti zemědělství. Jedná se o tzv. vody technologické, nebo chladicí, mající proměnlivý obsah a množství znečišťujících látek, v závislosti na charakteru dané výroby. Jelikož mohou průmyslové vody obsahovat značné množství nebezpečných a chemicky závadných látek, platí při jejich vypouštění do kanalizační sítě specifické podmínky. Touto problematikou se podrobně zabývá *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění*

odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech – ve znění od 01.01.2022, jež pro jednotlivé druhy provozů stanovuje maximální přípustné množství vypouštěných látek na objem vody nebo teplotní limity pro vypouštění do povrchových vod. (3) (4)

2.1.2.4 *Odpadní vody obsahující nebezpečné látky*

Do kategorie odpadních vod s obsahem nebezpečných a zvláště nebezpečných látek řadíme takové vody, které mají silné negativní dopady na lidské zdraví či mohou dlouhodobě poškozovat životní prostředí. Jedná se typicky o látky na bázi ropy, toxické chemikálie, žiraviny nebo radioaktivní či karcinogenní materiály. Podrobný výčet těchto látek lze nalézt v *Příloze č. 1* k výše zmíněnému zákonu 254/2001 Sb. Vypouštění takto znečištěných vod do městské kanalizace, nebo povrchových vod, je obvykle podmíněno odstraněním či separací a následnou likvidací příslušných látek pomocí specializovaných postupů. Mezi odpadní vody s obsahem nebezpečných látek je možné rovněž zařadit také vody produkované ve zdravotnických a jím podobných zařízeních, jež disponují vysokým obsahem mikroorganismů. Takové vody jsou charakterizovány jako vody infekční. V případě práce se zařízeními s radioaktivním zářením mohou odpadní vody obsahovat radionuklidy a významnou složkou jsou také zbytky léčiv a jiných přípravků. Pro infekční vody se vhodné zřizovat v objektu oddělenou kanalizační síť, jejíž součástí je dezinfekční zařízení. Čištěním odpadních vod ze zdravotnických zařízení se podrobně zabývá norma ČSN 75 6406, *Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení (ZZ) vypouštěnými do stokové sítě pro veřejnou potřebu*, s účinností od března 2020. (8)

2.1.3 ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Znečišťující látky v odpadních vodách lze řadit do tří základních skupin, v závislosti na jejich charakteru. Jedná se o znečištění fyzikální, chemické nebo biologické, které jsou obvykle dále posuzovány z hlediska rozpustitelnosti, schopnosti usazování nebo rozložitelnosti a mohou být organického, či anorganického původu. Mezi další specifické způsoby znečištění můžeme řadit tepelné znečištění, radioaktivitu, změnu kyselosti, eutrofizaci nebo široký okruh tzv. mikropolutantů, což jsou látky, které mohou mít i v malých koncentracích závažné negativní dopady na kvalitu vody a její následný vliv na člověka či životní prostředí. (3) (9)

Fyzikální znečištění odpadních vod dále dělíme na znečištění mechanické, tepelné a radioaktivní. S mechanickým znečištěním se setkáváme zejména při odvodu srážkové

vody ze střech objektů, komunikací a jiných zpevněných povrchů, kde se hlavními polutanty stávají písek, zemina, odumřelé listy a větve, ale i množství komunálního odpadu, tvořeného především nejrůznějšími plastovými obaly, cigaretovými nedopalky a dalšími materiály. Vyjma komunálního odpadu obvykle nepředstavuje tento druh znečištění významné riziko pro životní prostředí, avšak jeho problém tkví ve schopnosti postupného usazování a následném zablokování kanalizační sítě. V našich podmínkách je, díky velkému objemu a výskytu v relativně krátkém časovém úseku, největším rizikem opad listů v podzimních měsících.

S tepelně znečištěnými odpadními vodami se ve větší míře setkáváme v rámci průmyslového odvětví, kde se nejčastěji jedná o odváděné chladicí vody z elektráren či výrobních procesů. O tepelném znečištění hovoříme v případech, kdy se jedná o nárůst nebo pokles teploty vody vlivem lidské činnosti. Poměrně běžně se s tímto typem znečištění můžeme setkat také v oblasti bydlení, zejména pak ve specifických časových intervalech v průběhu dne. Zdrojem je vypouštění většího množství ohřáté vody, vzniklé v rámci osobní hygieny, praní či mytí nádobí. Vlivem přímého vypouštění tepelně znečištěných odpadních vod do vod povrchových je urychlení mikrobiální procesů, jež má za následek snížení obsahu rozpuštěného kyslíku. Dopadem těchto vlivů je negativní ovlivnění živočišných druhů citlivých na teplotu a nedostatek kyslíku. (10)

Radioaktivní znečištění odpadních vod vzniká především v rámci těžby a zpracování uranové rudy, při provozu jaderných elektráren či ve zdravotnictví a průmyslu. Zvýšené koncentrace radioaktivních látek mají toxické účinky na úrovni biochemických reakcí, jež vedou k jejich akumulaci v orgánech a tkáních. (10)

Chemické znečištění odpadních vod je tvořeno přítomností nejrůznějších chemických prvků a sloučenin organického či anorganického původu, zastoupené kyselinami, zásadami a přítomností různých solí. K hlavním druhům chemického znečištění řadíme například těžké kovy, nutrienty, syntetické organické sloučeniny, barviva, amoniak a jiné dusíkaté látky, organické znečišťující látky, či zbytky farmaceutických a kosmetických produktů. Znečištění těžkými kovy je nejčastěji zastoupeno olovem, rtutí nebo kadmiem, které jsou především uvolňovány z průmyslových procesů. Nejvíce obsaženými nutrienty v odpadních vodách jsou dusík a

fosfor, jež mají za následek nadměrnou eutrofizaci¹ vodních ekosystémů. Sloučeniny fosforu se do odpadních vod uvolňují především z pracích prostředků a obdobných čistících prostředků, dále pak z fekálií a zbytků potravy. Znečištění organickými látkami lze, na základě jejich vlastností, rozdělit do čtyř kategorií. První z nich jsou netoxické biologicky rozložitelné látky, kam patří například sacharidy, alifatické kyseliny a glycerol. Druhou skupinou jsou netoxické biologicky obtížně rozložitelné látky, kam spadají některé druhy barviv a aromatické sloučeniny. Třetí skupinou jsou toxické biologicky rozložitelné látky, do kterých řadíme fenoly, insekticidy apod. A čtvrtou skupinou pak jsou toxické biologicky těžko rozložitelné látky, do kterých můžeme zahrnout chlorované uhlovodíky, aniliny apod. Rozkladem bílkovin a močoviny, jež často bývají součástí zemědělských hnojiv, případně průsakem odpadních vod z jímek či kanalizací, se do podzemních vod dostávají amonné ionty. Přítomnost těchto iontů lze poznat typickým štiplavým zápachem čpavku. Pro ryby a jiné vodní organismy jsou ve většině případů tyto látky silně toxické. Některé chemické látky obsažené v odpadních vodách mají bioakumulativní vlastnosti, přičemž dochází k jejich hromadění v potravním řetězci, což může vést k chronickým zdravotním problémům lidí a zvířat. (3) (9) (11) (12)

Speciálním druhem chemického znečištění jsou více či méně nebezpečné látky pocházející z farmaceutických a kosmetických přípravků. Zatímco dle nejnovějších průzkumů jsou současně používané technologie čištění odpadních vod schopné odstranit téměř 100 % nejhojněji užívaných léčiv typu paracetamol a ibuprofen, problémem zůstávají antibiotika, hormonální přípravky či některá analgetika. Konkrétně problém týkající se antibiotik, přímo nesouvisí se způsobem čištění odpadních vod, nýbrž vzniká již v samotných stokách. Téměř všechna požitá antibiotika se v nezměněné formě dostávají do odpadních vod, kde přichází do kontaktu s bakteriemi, jež se zde běžně vyskytují. U těchto bakterií se s postupem času vyvine antibiotická rezistence, která při případné nákaze výrazně komplikuje standardní způsob léčby. I přesto, že jsou běžně používané moderní ČOV schopny zabránit přímému průchodu většiny bakterií do vodních toků, resistantní bakterie se dostávají zpět do životního prostředí vlivem využívání akumulovaných kalů. (11) (13) (14)

Biologické znečištění odpadních vod je tvořeno přítomností bakterií a dalších mikroorganismů zahrnujících viry, prvoky či parazity. Mezi nejčastěji vyskytující se

¹ Eutrofizace je proces obohacování povrchových vod živnými minerálními látkami, které při nadměrné míře vedou ke zvýšené biologické produkci a nežádoucímu zarůstání vodních biotopů.

patogeny řadíme *Escherichia Coli*, *Salmonella*, Termotolerantní koliformní bakterie, Intestinální enterokoky či Kolifágy. V případě určitých druhů a nadměrného množství těchto patogenů, jsou dle *ČSN 75 6406 – Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení (ZZ) vypouštěnými do stokové sítě pro veřejnou potřebu*, tyto odpadní vody charakterizovány jako vody infekční, jež často vyžadují zvláštní opatření před vypouštěním do kanalizační sítě. Mezi hlavní zdroje infekčních vod řadíme zdravotnická zařízení. (3) (15)

2.1.4 LIKVIDACE ODPADNÍCH VOD

Pro novostavby, nebo stavební úpravy staveb stávajících, jež podléhají stavebnímu řízení, platí dle § 5 odstavce 3 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (*vodní zákon*), povinnosti o nakládání s odpadními a srážkovými vodami. Odpadní vody je nutné odvádět do veřejných kanalizačních sítí, případně čistit a následně vypouštět v rámci pozemku do povrchových, nebo podzemních vod. V případě technické neproveditelnosti musejí být odpadní vody skladovány v nepropustné jímce a pravidelně odváženy k odborné likvidaci. Pro srážkové vody, odtékajících ze staveb, platí povinnost jejich akumulace a následné využívání, vsakování nebo odpařování na pozemku stavebníka. V případě nemožnosti realizace některého z výše uvedených způsobů je možné srážkové vody vypouštět regulovaným odtokem do kanalizační sítě, s preferencí oddílné dešťové kanalizace, jež není zakončena centrální čistírnou odpadních vod. Regulovaný odtok zabraňuje zahlcení kanalizační sítě v čase přívalových dešťů.

Vsakování vod

Možnosti vsakování vod na pozemku se odvíjejí od lokálních hydro-geologických podmínek. Tyto podmínky je možné určit podrobným geologickým průzkumem, případně vsakovací zkouškou, jejíž náležitosti a způsob provedení jsou podrobně popsány v *ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod*. V případě prokázání nedostatečné vsakovací schopnosti je možné vsakovací zařízení kombinovat s vypouštěním vod regulovaným odtokem. Vsakování vod je možné řešit dvěma základními způsoby, a to povrchově, nebo podpovrchově. Preferovaným způsobem je povrchové vsakování, u kterého dochází k přirozenému čištění přes humusovou vrstvu zeminy a zpravidla se jedná o ekonomicky výhodnější řešení. Mezi objekty povrchového vsakování řadíme plošná vsakovací zařízení, vsakovací průlehy a vsakovací nádrže či jezírka. Hlavní výhodou podpovrchových vsakovacích zařízení je jejich nižší prostorová náročnost a možnost instalace pod plochy s jiným využitím, například pod parkovací plochy.

K podpovrchovému vsakování slouží vsakovací rýhy, jámy a podzemní prostory, vyplněné štěrkem, či specializovanými vsakovacími prvky, nebo vsakovací šachty. Příkladem kombinovaného způsobu je vsakovací průleh-rýha, jež prochází skrz vyšší nepropustné vrstvy do hlubších vrstev s dostatečnou propustností. (16)

Plošným vsakovacím zařízením se rozumí zatravněné plochy se sklonem do 1:20, na které je bez retence přiváděna srážková voda. Plošné vsakování je nutné doplnit o opatření zajišťující odvod vody při překročení navrhované vsakovací kapacity, například odtokem do vsakovacího průlehu. Za plošné vsakovací zařízení se nepovažují propustné, nebo polopropustné plochy s nedostatečnou tloušťkou humusové vrstvy, jejichž čistící schopnost je tím výrazně snížena. Typicky se jedná o štěrkové plochy, nebo plochy zpevněné zatravnovací dlažbou. Takové plochy slouží především pro snížení srážkového odtoku, kam by neměla směřovat voda z jiných zpevněných povrchů za účelem vsakování. (17)

Vsakovací průlehy se využívají v případech nevhodné profilace terénu, omezeného prostoru, nebo nedostatečné propustnosti pro plošné vsakování. Jedná se o mělkou terénní prohlubeň se zatravněným povrchem, do které je ze zpevněných ploch přiváděna voda, určená ke vsakování. Retence vody v průlehu by měla být pouze krátkodobá, aby nedocházelo ke snižování vsakovacích schopností vlivem kolmatace² a úhynu vegetace. (17)

Vsakovací nádrže jsou svým charakterem obdobou vsakovacích průlehub, s rozdílem schopnosti výrazné retence. Dle technické normy *TNV 75 9011* jsou vsakovací nádrže definované, pokud je poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a plochou pro vsakování větší než 15. Vsakovací nádrže jsou využívány především při odvodňování rozsáhlých zpevněných ploch, případně několika menších ploch současně. Součástí vsakovacích nádrží je bezpečnostní přeliv, jež při jejich zaplnění zabraňuje rozlévání vody do okolí. Vlivem vysokého hydraulického zatížení vsakovací plochy hrozí zvýšené riziko její kolmatace, která nepříznivě ovlivňuje vsakovací schopnosti. Z tohoto důvodu je při návrhu počítat se zvýšeným součinitelem bezpečnosti vsaku. (17)

Vsakovací rýhy, jámy či podzemní prostory jsou hloubené vsakovací zařízení, vyplněné propustným materiálem s možností retence a vsakování do hlubších vrstev

² Kolmatace je jev, při kterém dochází k zaplňování pórů horniny jemnými částicemi, které vede ke zmenšování její propustnosti.

podloží s vyšší propustností. Jako propustný materiál se nejčastěji používá štěrk, případně specializované prefabrikované prvky. Podpovrchový přívod vody je nutno osadit kalovou jámkou, revizní šachtou a bezpečnostním přelivem. (17)

Vsakovací šachty slouží k retenci a bodovému vsakování do hlubších vrstev podloží, jako je tomu u vsakovacích rýh, jam a podzemních prostor. Využívají se v případě menších objemů vsakované vody v kombinaci s požadavky na nižší prostorovou náročnost. Vsakovací šachty jsou nejčastěji zhotoveny pomocí železobetonových skruží, případně z velkopřůměrového PVC potrubí. Samotné vsakování může probíhat skrz netěsnosti v rámci stěn a přes propustné dno. (16) (17)

2.2 JÍMÁNÍ A DISTRIBUCE ODPADNÍCH VOD

K jímání a distribuci odpadních vod slouží kanalizační systém, skládající se z trubních rozvodů, vpustí, šachet, přípojek, čerpacích stanic, odlehčovacích komor, čistíren a dalších staveb, jež je podrobně definován zákonem č. 274/200 Sb., o vodovodech a kanalizacích, jako:

„... provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod společně nebo odpadních vod samostatně a srážkových vod samostatně, kanalizační objekty, čistírny odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace. Odvádí-li se odpadní voda a srážková voda společně, jedná se o jednotnou kanalizaci a srážkové vody se vtokem do této kanalizace přímo, nebo přípojkou stávají odpadními vodami. Odvádí-li se odpadní voda samostatně a srážková voda také samostatně, jedná se o oddílnou kanalizaci. Kanalizace je vodním dílem.“

Celková koncepce a výsledné rozvržení kanalizační soustavy vychází především z charakteru okolního terénu a podloží, ale také celkovým množstvím a složením odváděné odpadní vody. Dle výše zmíněného zákona č. 274/200 Sb. však musí být kanalizace obecně navržena tak, aby svým provozem negativně neovlivňovala životní prostředí a zajišťovala nepřetržité odvádění odpadních vod s dostatečnou kapacitou i během přívalových dešťů. Kanalizace musí dále být tvořena vodotěsnými konstrukcemi, chráněna proti zamrznutí a poškození vnějšími vlivy.

2.2.1 VÝVOJ MĚSTSKÉ KANALIZACE

Prvopočátky problematiky zabývající se otázkou nakládání s odpadními vodami je možné nalézt již ve starověku, v dobách vzniku prvních větších lidských sídel. Když na přelomu 10. a 9. tisíciletí př. n. l. vznikalo zemědělství a lidé začali inklinovat k životu na jednom místě, přirozeně vyvstala potřeba řešit problémy s hromaděním nejrůznějších odpadů. V době kolem 3. tisíciletí př. n. l. patří mezi nejvýznamnější lidská sídla sumerské město Uruk, jež nám mimo počátky účetnictví a systému placení daní přenechalo také základy kanalizační infrastruktury. Následující rozvoj kanalizačních prvků probíhal především v rámci významných říší v oblasti Středozemního moře. V průběhu 7. století př. n. l. v Římě vzniká rozsáhlá městská kanalizační síť, později pojmenovaná jako Cloaca Maxima, v překladu Velká stoka, jež slouží i do dnešních dnů. Tato síť začala být budována v reakci na ničivé záplavy, jež postihly město, a coby meliorační systém sloužila k odvodňování tavných bažin. Podle dochovaných historických záznamů se původně jednalo o otevřené kanály, jež byly postupem času uzavřeny kamennou klenbou. Z této doby jsou z oblasti Řecka rovněž známy první pokusy o čištění odpadních vod skrz propustné zeminy. S pádem římské říše a příchodem středověku se vývoj kanalizace, obdobně jako i většiny jiných oblastí, víceméně zastavil. Kolem roku 400 n. l. došlo v oblasti Evropy k návratu primitivních hygienických návyků, jež přinesly řadu problémů, včetně zvýšeného šíření nemocí. Situace se zlepšila až v průběhu 17. stol. n. l., kdy se ve velkých evropských městech začínají budovat zárodky prvních klenutých kanalizačních sítí. Teprve v druhé polovině 19. století pak dochází k systematickému budování městských kanalizačních sítí, zakončených prvními čistírnami odpadních vod. (18) (19) (20)

2.2.2 STOKOVÉ SÍŤE

2.2.2.1 *Soustavy stokových sítí*

Jednotná soustava

V rámci jednotné stokové sítě se dopravují veškeré druhy odpadních vod společně, tj. dochází k jejich mísení. Výhodou jednotné soustavy je konstrukce pouze jednoho vedení, což snižuje prostorovou náročnost a výši vstupních investic. Potrubí však musí dosahovat výrazně větších rozměrů, pro zajištění dostatečné kapacity při odvádění vod z přívalových dešťů. Přívalové deště řádově převyšují standardní průtoky splaškových vod. Z tohoto důvodu se jednotné soustavy navíc doplňují o odlehčovací

komory, které při překročení maximálního navrženého průtoku zajistí přepad vody do recipientu či retenční nádrže. Výhodou krátkodobě zvýšené intenzity průtoku, vlivem přívalových dešťů, je účinná samočistící schopnost potrubí. Naopak nevýhodou je možné přetížení koncové ČOV. Vzhledem k odvádění splaškových odpadních vod musejí být tyto soustavy vždy zatrubněny a, pro umožnění odvodnění podsklepených prostor běžné zástavby, uloženy v dostatečné hloubce. Odpadní vody v jednotných soustavách jsou zpravidla dopravovány gravitačně. Přečerpávání není vhodné z důvodů velkého rozsahu průtoků. (21)

Oddílná soustava

V oddílné stokové soustavě jsou srážkové a splaškové vody odváděny separátně, tj. je nutné realizovat dva samostatné okruhy stokových sítí.

Vzhledem k relativně nízkým a stabilním průtokům, mohou dosahovat rozvody splaškové kanalizace menších průměrů. Z hygienických důvodů musí být celá stoková soustava vedena v potrubí. Výhodou samostatného splaškového okruhu je přímé vedení k ČOV, bez nutnosti instalace odlehčovacích komor. Nedochozí tak ke kontaminaci povrchových vod během přívalových dešťů a odpadá riziko zatopení sklepních prostor vzdutím kanalizačních přípojek. (21)

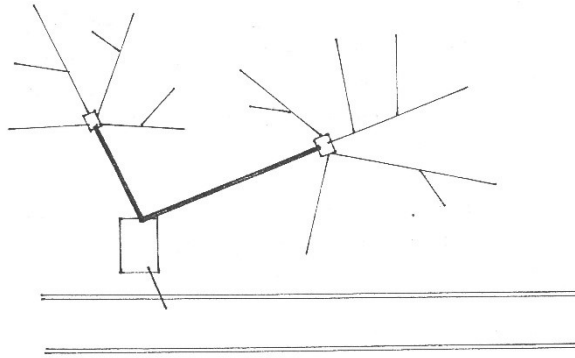
Okruhy srážkové kanalizace musejí být z podstaty věci dimenzovány na stejné průtoky jako jednotné soustavy. Mohou však být vedeny v menších hloubkách a nemusejí být zatrubněny, což může výrazně snížit pořizovací náklady. Soustava srážkové kanalizace tak může být tvořena například betonovými žlaby, či zemními rýhami. V případě užití trubních rozvodů, například v rámci husté městské zástavby, je vhodné začlenění soustavy retenčních nádrží, jež umožní zmenšení jejich průměrů. Srážkové vody jsou v oddílné soustavě dopravovány zcela výhradně gravitačním způsobem. Čištění srážkových odpadních vod je obvykle realizováno v podobě retenční nádrže, umístěné před výustí do recipientu, případně s doplněním o česle. (21)

2.2.2.2 Systémy stokových sítí

Systémem stokových sítí se rozumí koncepce vzájemného uspořádání jednotlivých stok, odpovídající průběhu terénu a rozvržení uliční sítě. Stoky jsou vždy navrhovány tak, aby došlo k dopravení odpadních vod do ČOV, nejvýhodnější trasou.

Radiální systém

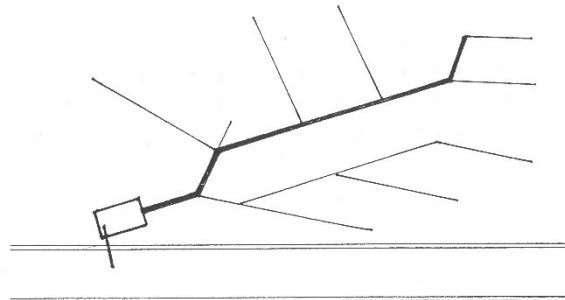
Jednotlivé stoky radiálního systému se paprskovitě sbíhají v nejnižším místě, odkud jsou odpadní vody dále vedeny kmenovou stokou. V závislosti na dalším průběhu terénu jsou odpadní vody z nejnižšího místa odváděny gravitačně, nebo pomocí přečerpávání. Systém se používá pro odvodnění kotlin. (21)



Obrázek 1 – Radiální systém stokové sítě (3)

Větvový systém

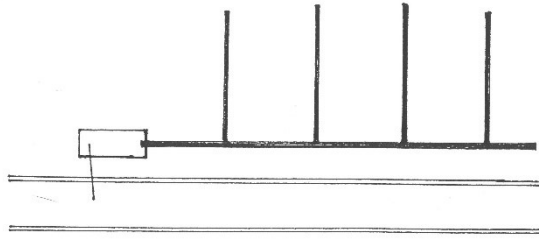
Větvový systém se využívá pro dopravu odpadních vod v rámci členitého terénu, kdy jsou jednotlivé stoky vedeny, pokud možno, v nejkratších úsecích a s vhodným sklonem. Jednotlivé větve jsou poté zaústěny do kmenové stoky, vedoucí v nejnižším místě území. (21)



Obrázek 2 – Větvový systém stokové sítě (3)

Úchytný systém

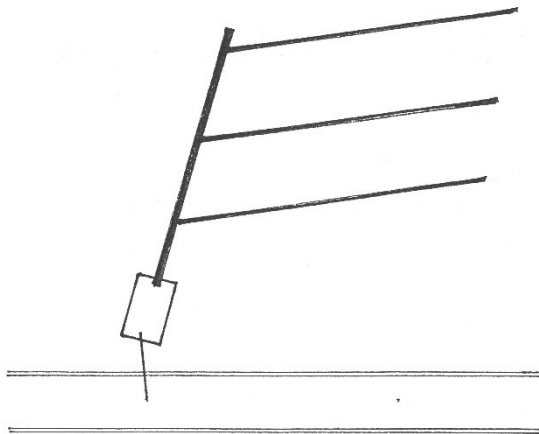
Úchytný systém se obvykle navrhuje v dlouhých údolích s mírným sklonem terénu, s kmenovou stokou často vedoucí podél vodního toku. Tato kmenová, nebo také úchytná stoka, postupně přejímá odpadní vody z jednotlivých sběračů. (21)



Obrázek 3 – Úchytňý systém stokové sítě (3)

Pásmový systém

Pásmový systém se navrhuje pro odvodnění rozsáhlejších území, obvykle s většími výškovými rozdíly. Kanalizační soustava je rozdělena do několika samostatných výškových pásem, s libovolným uspořádáním (radiální, větvový, úchytňý). V závislosti na výškovém umístění ČOV jsou z jednotlivých pásmových sběračů odpadní vody odváděny gravitačně nebo pomocí přečerpávání. (21)



Obrázek 4 – Pásmový systém stokové sítě (3)

2.2.2.3 Způsob dopravy

Gravitační

Gravitační systém je nejstarším a nejjednodušším způsobem transportu odpadních vod, bez závislosti na přísunu elektrické energie. Gravitační doprava spočívá v postupném napojování stokových sítí od nejvyššího místa po nejnižší, zakončené ČOV. Tento způsob je vhodný zejména u husté zástavby na svažitém terénu s hluboko umístěnou hladinou podzemních vod. Při postupném rozpínání a zvětšování lidských sídel je již prakticky nemožné provozovat čistě gravitační stokovou síť. Vlivem morfologie terénu často bývají nově zbudované městské čtvrti svedeny do centrální retenční nádrže, odkud jsou odpadní vody dále čerpány do výše položených úseků, nebo přímo do ČOV. (21)

Přečerpávání a tlakový systém

Přečerpávání odpadních vod se využívá ojediněle, na vybraných místech stokové sítě, za účelem lokálního překonání výškových rozdílů. Jedná se například o níže položené podružné stoky, jež jsou čerpány do stoky kmenové, případně závěrečné čerpání přímo do ČOV. Čerpání samotné je obvykle zajištěno objemovými ponornými čerpadly, často doplněné o drtič nečistot. Tlakový systém spočívá v soustavě několika přečerpávacích stanic, do kterých jsou gravitačně svedeny odpadní vody z připojených objektů. (21)

Podtlakový

Podtlakový způsob dopravy spočívá ve vytvoření podtlaku pomocí vakuových čerpadel, umístěných v centrální sběrné stanici. Každý z připojených objektů pak musí disponovat sběrnou tlakovou nádobou a akumulací jímku se sacím ventilem. Z centrální stanice jsou poté splaškové vody gravitačně odváděny, případně přečerpávány do ČOV. Podtlakový, obdobně jako tlakový systém, se využívá v místech s rozptýlenou zástavbou, vysokou hladinou podzemních vod, špatných geologických podmínkách, či v ochranném pásmu vodních zdrojů. (21)

2.3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

Míra využívání odpadních vod může být poměrně široká. Od nejzákladnějšího použití akumulovaných srážkových vod, po sofistikované systémy s pokročilým čištěním šedých či černých vod. Odpadní vody, jež prošly systémem čištění pak nazýváme jako bílé vody, jejichž jakost odpovídá vodám užitkovým. K rozhodovacím faktorům při výběru systému pro využívání odpadních vod řadíme účel a kapacitu řešené stavby, možné zdroje a využitelné množství odpadních vod, možnosti jejich využití a v neposlední řadě také geografické umístění. Čistě z ekonomického hlediska nás zajímá dostupnost ostatních vodních zdrojů, výše provozních nákladů, návratnost a celková finanční bilance navrženého systému.

2.3.1 DRUHY VYUŽÍVANÝCH VOD

2.3.1.1 Provozní voda

Provozní voda, někdy také označována jako voda technologická, se využívá v rámci širokého spektra výrobních procesů, zejména v oblasti průmyslu a zemědělství. Mezi takové procesy nejčastěji řadíme mytí nebo chlazení. Požadavky na kvalitu provozních vod se odvíjejí od příslušného způsobu použití.

2.3.1.2 Užitková voda

Za užitkovou vodu označujeme takovou vodu, která je určena k jiným účelům než pitným, ale její jakost splňuje požadavky na zdravotní nezávadnost. Užitková voda tak nepodléhá přísným požadavkům na fyzikálně-chemické vlastnosti jako voda pitná. Užitkovou vodu lze použít prakticky ke shodným účelům jako vodu provozní, zejména pokud jsou na ni kladeny zvýšené požadavky, jako je tomu například v potravinářském průmyslu. Pro svoji zdravotní nezávadnost je užitková voda vhodná také pro osobní hygienu, nebo hasící účely.

2.3.1.3 Pitná voda

Pitná voda, jak už její název napovídá, je svým složením uzpůsobena k lidské konzumaci. Podle zákona č. 258/2000 Sb., *o ochraně veřejného zdraví* je pitná voda definována jako:

„... veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání. ...“

Podrobné hygienické požadavky a limity na kvalitu pitné vody jsou stanoveny v prováděcí vyhlášce č. 252/2004 Sb., *kteřou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody – v aktuálním znění*.

2.3.2 ZDROJE VYUŽÍVANÝCH VOD

2.3.2.1 Srážkové vody

Zdrojem srážkových odpadních vod jsou odváděné atmosférické srážky ze zpevněných povrchů, především střech či pozemních komunikací. Využitelné množství je přímo úměrné celkové velikosti odvodňovaných ploch, charakteristice jejich povrchu, geografickému umístění a aktuálnímu období v průběhu roku. Srážkové odpadní vody jsou snadno dostupným zdrojem, bez výrazných nároků na čištění. Jedná se tak o nejhojněji a historicky nejdéle využívané odpadní vody, kdy již z pohledu současných právních předpisů, uvedených v rámci kapitoly 2.1.4, vyplývají požadavky na jejich přednostní využívání v rámci pozemku stavby.

Míra znečištění srážkových vod se odvíjí z materiálové charakteristiky a způsobu využívání příslušných zpevněných ploch. Chemické složení je především ovlivněno kvalitou ovzduší širšího okolí, ale také obsahem rozpustitelných látek, uvolněných z materiálů dopadových ploch a distribučních prvků. Jelikož je srážková voda v atmosféře ve styku s řadou chemických látek, není možné zaručit její zdravotní nezávadnost. Dalším významným faktorem, ovlivňující kvalitu srážkových odpadních vod je délka bezdeštného období. Pro střechy a množství dalších povrchů jsou často dopadové srážky jediným způsobem jejich čištění od přirozených nečistot v podobě prachu, pylu, spadaneho listí a drobných větví či ptačího trusu. Během déletrvajících období sucha tak hrozí zvýšená kumulace těchto nečistot, jež následně tvoří významný podíl v rámci prvotního množství odváděné vody. Z tohoto důvodu je vhodné první splach (cca 1-3 mm srážek) oddělit od procesu čištění. I přes uvedenou míru znečištění jsou srážkové odpadní vody obecně považovány za nejčistší typ odpadních vod. Mimo nízkou míru znečištění je předností srážkových vod také jejich měkkost, zajištěná předcházejícím přirozeným procesem odpaření. (22)

2.3.2.2 Šedé odpadní vody

Dle kapitoly [2.1.2.1](#) se šedými vodami rozumí odpadní vody bez obsahů zbytkových produktů lidského metabolismu, vznikající při provozu staveb. Jedná se tak o mírně znečištěné odpadní vody, které je po přečištění možné využít jako vody užitkové. Výhodou využití těchto vod je výrazně nižší energetická náročnost procesu čištění, ve srovnání s čištěním běžně používané pitné vody. Zdroje využitelných šedých vod se mohou dále dělit na základě míry znečištění na producenty světle šedých a tmavě šedých odpadních vod, přičemž k dalšímu využití se hodí především vody světle šedé. Zdroje tmavě šedých vod obvykle dosahují výrazně vyšší míry znečištění, což má za následek i zvýšení nároků na proces čištění. Odpadní vody vzniklé při výrobě jídla často obsahují značné množství chemického znečištění, organických zbytků a nerozpustných látek, vyžadující osazení lapače tuku. Z těchto důvodů se tmavě šedé vody k dalšímu použití obvykle nedoporučují. (23)

2.3.2.3 Černé odpadní vody

Mezi zdroje, produkující černé odpadní vody, řadíme především klozety či pisoáry. Jedná se o odpadní vody znečištěné produkty lidského metabolismu, které se v rámci běžných provozů zpravidla dále nevyužívají. Proces čištění je, vzhledem k míře dostupnosti pitné vody, v našich podmínkách ekonomicky nevýhodný. Čištění černých

vod je obvykle realizováno pouze v případě nemožnosti napojení na veřejnou kanalizační síť s centrální čistírnou odpadních vod.

2.3.3 ZPŮSOBY VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

2.3.3.1 Venkovní využití

Mezi hlavní použití odpadních vod v exteriéru staveb řadíme zejména závlahu vegetace, čištění zpevněných ploch a jiných částí stavby, případně mytí vozidel, pracovních nástrojů či obdobných zařízení. K těmto účelům se díky své dobré dostupnosti a vhodnému složení využívá především akumulovaná srážková voda, která je pro závlahu svým charakterem dokonce vhodnější než upravená voda pitná. V případě vyšších nároků či nedostatečného množství během delších suchých období, je tato voda často doplňována o přečištěné odpadní vody ze staveb. Pro účely zavlažování lze za určitých okolností využívat i neupravené mírně znečištěné odpadní vody. Využití takové vody by se mělo soustředit výhradně v rámci vegetačního období rostlin a jejím spotřebováním by mělo proběhnout do 24 hodin od zachycení. Výhodou je zvýšený podíl organických látek, jež slouží jako hnojivo pro podporu růstu. Závlaha neošetřenou šedou vodou se nicméně nedoporučuje v případě plodin určených ke konzumaci. (23) (24)

2.3.3.2 Využití v budovách

V oblasti budov se s využitím přečištěné odpadních vody setkáme zejména u splachování toalet, mytí podlah úklidu či během praní, pro které se díky své měkkosti hodí především voda srážková. (7)

2.3.3.3 Využití v průmyslu

V průmyslu využíváme recyklované odpadní vody především za účelem snížení nákladů výrobních procesů. Nejčastěji se setkáme využitím v podobě chladicí, či oplachové vody.

2.3.3.4 Doplnkové využití

Jedním se zajímavých způsobů využití odpadních vod je rekuperace tepla, které může v určitých časových úsecích během dne dosahovat relativně vysokých teplot. Odborné veřejnosti je obecně známo, že až 40 % z energetické náročnosti budov putuje bez využití do městské kanalizace. Instalací speciální rekuperačních zařízení tak lze část tohoto odpadního tepla využít předehřátím vody, určené pro následný ohřev. (25)

2.4 ÚPRAVA KVALITY ODPADNÍCH VOD

Čištění odpadních vod je základním procesem, jež umožňuje jejich navrácení zpět do přírodního prostředí případně jejich opětovné využívání. Charakter a míra znečištění vycházejí především ze způsobu využití vody a aktivit, které ji znečišťují. Tyto aktivity obvykle generují širokou škálu znečištění, proto často není možné odpadní vody čistit pouze jedním způsobem. Různé druhy odpadních vod jsou navíc často míseny v rámci městských kanalizací, což ztěžuje jejich efektivní čištění a vyžaduje vytvoření komplexního systému v podobě čistírny odpadních vod, složené z několika nezávislých čistících procesů. Mezi základní způsoby řadíme mechanické, biologické a fyzikálně chemické čištění. (3)

Hlavními měřítky kontroly kvality odpadních vod jsou ukazatele BSK a CHSK. BSK, neboli biochemická potřeba kyslíku je udávána v mg.l^{-1} a vyjadřuje míru úbytku kyslíku v zkoumané vodě. Obecně platí, že čím je vyšší hodnota BSK, tím je voda znečištěnější. V případě CHSK se jedná o chemickou spotřebu kyslíku, která obsah organických látek určuje podle množství oxidačního činidla, spotřebovaného za daných podmínek. (26) (27)

2.4.1 METODY ČIŠTĚNÍ

2.4.1.1 *Mechanické*

Mechanické čištění se uplatňuje při odstraňování pevných částic z odpadních vod za pomoci sedimentace či filtrace. Aplikace je prováděna buďto v podobě hrubého předčištění, nebo úplného mechanického čištění. S hrubým předčištěním se zpravidla setkáváme na začátku čistícího procesu, kde brání nadměrnému zanesení či poškození navazujících systémů. Typickým příkladem jsou mříže kanalizačních vpustí, které zamezují vnikání nežádoucích předmětů do stokových sítí. Mezi základní prvky mechanického čištění řadíme záchytné mříže, pevné či pohyblivé česle, lapáky písku a odlučovače tuků. V případě úplného mechanického čištění se nejčastěji setkáváme s využitím usazovacího procesu v podobě sedimentačních nádrží. (3)

2.4.1.2 *Biologické*

Podstata biologického čištění odpadních vod je založena na schopnosti mikroorganismů zpracovávat organické znečištění. Jedná se o proces, který byl založen na základě přirozených čistících pochodů a můžeme jej dělit na aerobní či anaerobní. Biologické čištění je nejčastěji realizováno tzv. aktivační nádrží, do které jsou v podobě

biologicky aktivovaného kalu přivedeny směsné kultury hub, bakterií, prvoků a dalších mikroorganismů. Aktivační nádrž dnes patří k základním způsobům odstraňování nutrientů z odpadních vod, jež efektivně brání nadměrné eutrofizaci recipientů. (3)

Mezi klíčové procesy, zajišťující odstranění dusíkatých sloučenin v podobě amoniaku či dusičnanů, řadíme biologickou nitrifikaci a denitrifikaci. Jedná se o kombinaci procesů, v rámci kterých jsou za pomoci vybraných mikroorganismů dusíkaté sloučeniny v konečném důsledku přeměňovány na plynný dusík. (3)

2.4.1.3 Fyzikálně-chemické

Fyzikálně-chemické způsoby jsou využívány k odstraňování širokého spektra znečišťujících látek a díky řadě dostupných fyzikálních nebo chemických postupů se uplatňují především u čištění biologicky těžko odbouratelných látek a toxických vod. Mezi základní metody fyzikálně-chemického čištění řadíme neutralizaci, srážení, chemickou oxidaci, adsorpci, koagulaci a flokulaci, chemické odstraňování fosforu či membránové separační procesy, kam dále patří elektrodialýza, dialýza, nanofiltrace a reverzní osmóza. (3) (9)

2.4.2 ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD

Čistírna odpadních vod je zařízení, jež pomocí vybraných způsobů zbavuje odpadní vody znečišťujících látek. Z hlediska umístění dělíme ČOV na centralizované a decentralizované. Centralizované čistírny se obvykle nacházejí na samém konci městské kanalizační sítě, před jejím vyústěním do recipientu. Decentralizované ČOV pak nalézáme lokálně u jednotlivých objektů, kde slouží k plnému, či částečnému čištění. Částečné čištění je obvykle realizováno v rámci průmyslových areálů, díky časté nadměrné koncentraci nebezpečných látek v odpadních vodách.

Mechanicko-biologická ČOV

Mechanicko-biologické čistírny patří k nejrozšířenějším typům čistíren, přičemž se zpravidla využívají pro čištění běžných splaškových odpadních vod. Principem čistírny je spojení mechanického čištění s čištěním biologickým. Mechanické čištění je obvykle tvořeno lapákem šterku a hrubých nečistot, česlemi, lapačky písku a sedimentační nádrží. Následující stupeň biologického čištění probíhá v tzv. biologickém reaktoru a skládá se z aktivační a dosazovací nádrže. Mechanicko-biologické čistírny bývají často doplněny ještě o terciální čištění, jehož úkolem je fosforu a patogenů. (28)

Kořenová ČOV

Kořenová čistírna je alternativní ČOV, jejíž hlavní výhodou je absence použití elektrické energie. Princip fungování je totožný se standardní domácí ČOV, tj. jedná se o mechanicko-biologickou čistírnu. Kořenová čistírna je tvořena anaerobním generátorem, pulzní šachtou, denitrifikačním bio filtrem, revizní šachtou a bývá zakončena vsakovacím objektem. Výhodou je již zmíněná absence potřeby elektrické energie a přírodní charakter. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a prostorová náročnost. (29)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 POPIS REFERENČNÍ STAVBY

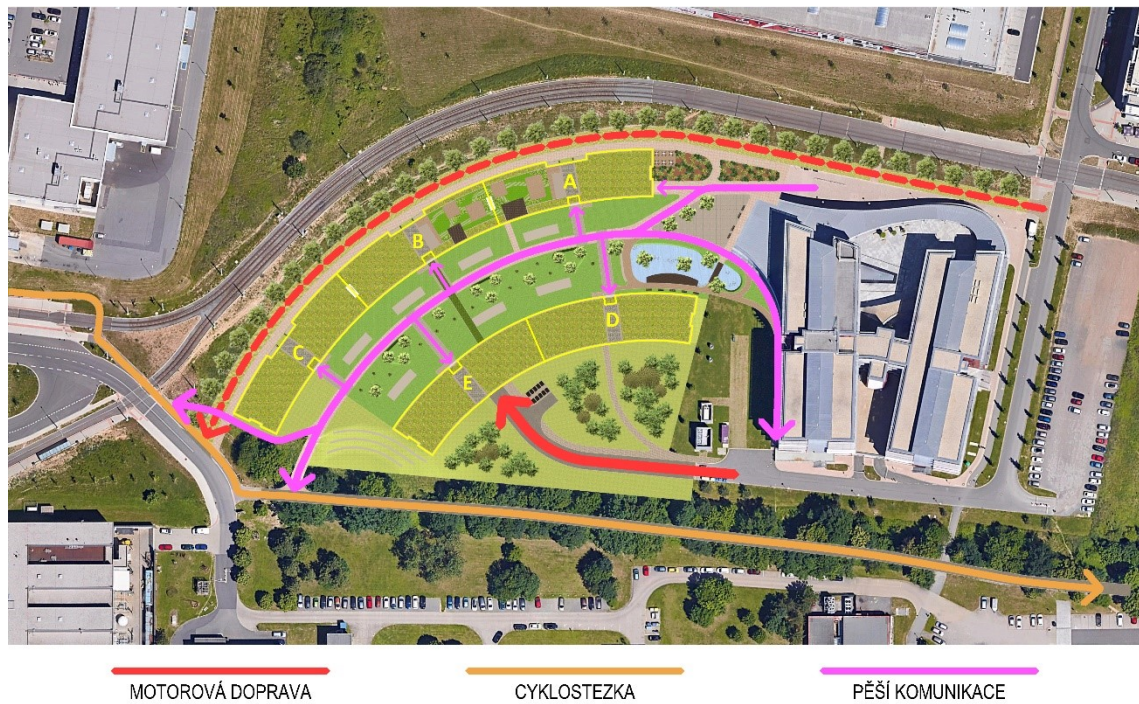
3.1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA STAVBY

Pro potřeby praktické části diplomové práce byla navržena architektonická studie fiktivního areálu *Západočeské univerzity v Plzni*, jehož primární funkcí je vysokoškolské studentské ubytování. Navržený areál, s pracovním názvem **Koleje Kampus**, je tvořen pěti navzájem propojenými budovami, shodných půdorysných rozměrů. Jednotlivé stavby jsou rozmístěny ve dvou rovnoběžných liniích, kopírujících zakřivenou severozápadní hranici pozemku a navazující tramvajovou trať. Severní linie je sestavena ze tří budov o šesti nadzemních podlažích a jižní linii tvoří zbývající dvě budovy o pěti nadzemních podlažích. V prostoru mezi budovami se nachází volné pěší prostranství parkového charakteru, doplněné o travní plochy, dřeviny, umělecké prvky a další městské či volnočasové vybavení.

3.1.2 UMÍSTĚNÍ STAVBY

Navrhovaná soustava budov je situována na nezastavěné pozemky, sousedící s areálem *Západočeské univerzity v Plzni*. Pozemky se nacházejí mezi budovou *Fakulty aplikovaných věd* s výzkumným centrem *NTIS* a konečnou stanicí nového úseku tramvajové linky číslo 4, kterou je rovněž lemována celá severozápadní hranice prostranství. Území je mírně svažité směrem k jihu a na jeho ploše se v současné době nachází neudržovaný travní porost s množstvím náletových dřevin různých velikostí.

Hlavní dopravní napojení je zajištěno v jihovýchodním rohu území, ze stávající účelové komunikace, obsluhující sousední objekt *Fakulty aplikovaných věd* a výzkumné centrum *NTIS* z ulice Technická. Alternativní dopravní napojení je zajištěno novou zásobovací komunikací, lemující severozápadní hranici pozemku a tramvajovou trať, jež propojuje Technickou ulici s příjezdovou komunikací do areálu *Západočeské univerzity* z ulice U Letiště. Pro pěší a cyklisty je areál přístupný z libovolného směru, především pak ze severovýchodního rohu z nádvoří sousedního objektu, z jihozápadního rohu od tramvajové točny, nebo ze stezky pro pěší a cyklisty na jihu.



Obrázek 5 – Schéma dopravního řešení

3.1.3 ARCHITEKTONICKÉ ŘEŠENÍ STAVBY

Vizuální zpracování, podlažnost a tvarové řešení je navrženo na základě plánovaného využití, s ohledem na stávající okolní zástavbu a celkový charakter území. Jelikož jsou budovy situovány na okraj rozsáhlé průmyslové zóny, pro jejich podobu byl zvolen minimalistický industriální styl. Ústředním motivem pro návrh výsledné podoby se stala myšlenka chátrajícího průmyslového areálu. Mezi další kritéria návrhu patřila vhodná architektonická návaznost na sousední univerzitní budovu, bezúdržbové řešení a maximální zachování přírodního charakteru stávajícího území.

Areál je složen z pěti navzájem propojených budov se shodným půdorysem a různé podlažnosti. Budovy jsou uspořádány do dvou rovnoběžných linií, kopírující křivku tramvajové tratě na severní straně území. Budovy samotné tvoří dvě osově symetrická zakřivená křídla, spojená ustoupeným proskleným úsekem, jež zajišťuje vertikální komunikaci mezi podlažími. Pro exteriér staveb byl proto zvolen lehký obvodový plášť, kombinující deskové výplně z povětrnostně odolné oceli typu *COR-TEN* se závěsnými moduly vegetačních fasád. V návaznosti na slunolamy sousední budovy ZČU, byly v úrovni jednotlivých podlaží navrženy tzv. kordonové římsy. Kordonové římsy a doplňkové oplechování detailů jsou řešeny z pozinkovaného plechu, který je svou barevností kontrastem ke zkorodovaným výplním obvodového pláště. Venkovní prvky, zpevněné plochy a drobná architektura jsou primárně zhotoveny z pohledového betonu

s případným doplněním o některý z materiálů využitých v rámci exteriéru budov. Vnější podoba staveb působí velice hrubým utilitárním, až strohým dojmem, zjemněným pouze užitím velkého množství vegetace v rámci fasád, střech a přilehlého okolí. Hmotově, ale i materiálově výrazným prvkem jsou hlavní vstupy do jednotlivých budov. Vstupy jsou tvořeny prosklenou fasádou a od vnějšího líce jsou ustoupeny na celou výšku stavby, vyjma střešní konstrukce. Boční stěny a podhled tvoří lesklé kompozitní desky v barvě odpovídající orientačnímu značení budov. Vzniklý vstupní portál je v ploše desek navíc doplněn o osvětlovací LED pás, zajišťující jeho zvýraznění v nočních hodinách.



Obrázek 6 – Orientační značení budov

Podrobný návrh interiéru není předmětem této práce. Je však počítáno s čistým moderním designem, laděným do přírodních barevných tónů, doplněn o prvky z přírodního dřeva. Vzhledem k charakteru provozu bude při výběru materiálu kladen důraz na zvýšenou odolnost a maximální bezúdržbovost. U vybraných prvků nebo povrchů bude též využita barevnost dle orientačního značení jednotlivých budov. Podoba interiéru by měla být jakýmsi protikladem k průmyslově řešenému a hrubě vyhlížejícímu exteriéru s cílem zajistit příjemné a útulné prostředí.

Podrobné architektonické řešení viz Příloha 4 – Vizualizace referenční stavby.

3.1.4 PROVOZNÍ ŘEŠENÍ STAVBY

3.1.4.1 Okolí staveb

Celý areál vysokoškolského ubytování byl navržen s důrazem na bezpečnou pěší komunikaci bez výrazných omezení, včetně dostatečného množství pobytových a volnočasových ploch. Mezi dvěma zakřivenými pásy, liniově uspořádaných staveb, se nachází veřejný prostor, kombinující charakter ulice a parku. Součástí tohoto prostoru je hlavní komunikační koridor pro pěší se vstupy do jednotlivých budov. Vstupy jsou vždy umístěny v ose budovy, o několik metrů ustoupeny od vnějšího líce a na celou výšku stavby doplněny o výrazné barevné obložení. Barva obložení odpovídá navrženému orientačnímu značení areálu. Jednotlivé budovy jsou dále značeny prvními písmeny latinské abecedy, v pořadí dle hlavního směru přístupu. V rámci boční stěny první

budovy, tj. budovy A, je umístěn centrální vstup, jež mimo jiné vede do administrativní části areálové správy.

Na začátku pěšího prostranství, v prostoru před centrálním vstupem, se nachází větší zpevněná plocha, plnící funkci náměstí. Z jižní strany na náměstí navazuje klidová zóna parkového charakteru, jíž dominuje umělé jezírko přírodního charakteru. Součástí prostoru klidové zóny je i pozvolné napojení na stávající úroveň terénu v jižní části areálu. Od klidového prostoru a náměstí, směrem na západní stranu, pokračuje centrální pěší koridor, postupně napojující jednotlivé budovy areálu. Na vybraných místech podél tohoto koridoru se nachází řada doplňkových prvků, zahrnujících workout hřiště, lezecké boulder stěny, umělecké instalace univerzitních studentů, pobytové a přírodní plochy či dřeviny. Jelikož se pod většinou plochy prostranství nachází podzemní podlaží, byly dřeviny místy nahrazeny vysloužilými pylony elektrického vedení, porostlými popínavou vegetací. Pylony jsou umístěny v oblastech s vysokým namáháním a nedostatečnou hloubkou zeminy. Zároveň se jedná o výrazný architektonický prvek, doplňující navrženou vizuální koncepci areálu. Přítomnost podzemního podlaží se na povrchu dále projevuje pomocí několika rozsáhlých prosvětlovacích otvorů, jež kromě přirozeného světla zajišťují přívod čerstvého vzduchu. Přibližně v polovině je centrální prostor rozdělen pěším mostkem, jež v úrovni 2.NP komunikačně propojuje severní linii budov s tou jižní, konkrétně budovu B s budovou E. Na samém konci prostranství dochází k propojení se stávajícími chodníky tramvajové točny a k výškovému vyrovnání s úrovní terénu, doplněným o betonové pobytové stupně.

Mezi severní linií staveb (budova A-C) a tramvajovou tratí je po celé severozápadní hranici pozemku vedena zásobovací komunikace, určená výhradně pro potřeby komerčních prostorů. Komunikace začíná napojením na Technickou ulici před budovou *Fakulty aplikovaných věd* a končí propojením se severní obslužnou komunikací areálu ZČU. Z důvodu nízké intenzity dopravy je povrch zásobovací komunikace navržen ze zatravněvací dlažby. V území mezi jižní linií staveb (budova D a E) a stávající cyklistickou stezkou bude ponechán přírodní charakter. Dojde k prodloužení stávající odbočky na jižním konci ulice Technická a jejímu propojení s podzemním podlažím areálu.

Podrobné provozní řešení v okolí staveb viz Příloha 1 – Umístění referenční stavby.

3.1.4.2 Podzemní podlaží

Rozsáhlé podzemní prostory se nacházejí, vyjma poloviny budovy A a C, pod celým areálem, včetně prostoru ležícím mezi jednotlivými liniemi budov. Většina plochy podzemního podlaží je vyhrazena pro účely parkování vozidel. Dále se zde nacházejí prostory čistírny odpadních vod, skladovací prostory či technické zázemí jednotlivých budov, v podobě tepelných výměníků, sběrných nádob odpadových shozů, včetně dalších přípojovacích prvků technické infrastruktury. Součástí podlaží je také krytá sportovní hala se zázemím a vlastním vstupem. Jediný vjezd a hlavní pěší přístup je situován z jižní strany, z prodloužené odbočky ulice Technická pod budovou E. Před samotným vjezdem je umístěno úvrat'ové obratiště a vyhrazený prostor pro odpadní kontejnery určené ke svozu.

Podrobné provozní řešení podzemního podlaží viz Příloha 2.01 – Půdorys 1. PP.

3.1.4.3 První nadzemní podlaží

První nadzemní podlaží všech pěti budov je prakticky vyhrazeno pouze pro navržená sekundární využití, mezi které řadíme komerční prostory, administrativní zázemí, fitness a sportovní sály, studovny, víceúčelové místnosti a různé provozní prostory, zajišťující chod areálu. Pro zajištění snadné dostupnosti doplňkových prostor, určených pro uživatele, je v rámci tohoto podlaží realizováno kryté komunikační propojení všech pěti budov. Propojení je zajištěno průběžnou podélnou chodbou, procházející přibližně středem dispozičního řešení a procházející skrz středové úseky budov, vyhrazených vertikální komunikaci. Severní a jižní linie budov jsou vzájemně propojeny v úrovni 2.NP pomocí krytého mostku. Nosná konstrukce mostku je tvořena dvojicí Vierendeelových nosníků, klenoucích se bez mezilehlých podpor na celou šířku pěšího prostranství. Součástí 1. NP budovy A je centrální areálový vstup s vrátnicí, administrativní částí, úklidovým zázemím, údržbářskou dílnou a garáží pro stroje na úpravu zeleně. Všechny zmíněné prostory jsou umístěny při jižní straně od středové propojovací chodby. Severní polovina, směrem k tramvajové trati, je v rámci budov A-C vyhrazena pro komerční prostory. Komerční část v budově B je doplněna množstvím víceúčelových místností bez bližšího určení, vyhrazených uživatelům areálu. Součástí budovy C je posilovna, výhradně určená pro uživatele areálu, doplněná o další víceúčelové místnosti. Polovina 1. NP budovy D je tvořena otevřeným prostorem kryté sportovní haly, nacházející se v rámci podzemního podlaží. Druhá polovina obsahuje tři

menší sportovní sály se sociálním zázemím a šatnou. Budova E je pak výhradně využita pro prostory studoven různých velikostí.

Podrobné provozní řešení prvních nadzemních podlaží viz Přílohy 2.02 – 2.06.

3.1.4.4 Běžná podlaží

Všechna běžná podlaží jsou určena výhradně pro primární funkci využití staveb, kterou je vysokoškolské ubytování. Pro jednotlivé budovy bylo navrženo shodné prostorově-provozní řešení, které spočívá v centrální sekci, sloužící pro vertikální komunikaci a která je doplněna a dvě obytná křídla. Součástí hlavní chodby centrální sekce je přístup do šachet odpadových shozů na separovaný odpad.

Každé z obytných křídel budov A-C tvoří samostatnou velkokapacitní bytovou jednotku s možností konfigurace jednotlivých ložnic, které je možné volně kombinovat od jednolůžkového po vícelůžkové rozvržení. Výsledné rozvržení má přímý vliv na celkovou ubytovací kapacitu areálu a komfort uživatel. Velkokapacitní bytové jednotky vždy začínají vstupem do společné obytné místnosti s přístupem do kuchyně na jedné straně a na balkon na straně druhé. Z obytného prostoru dále pokračují dvě rovnoběžné chodby, které se na konci propojují u světlovodné šachty a tvoří zde klidovou odpočinkovou zónu. Osvětlení chodeb přirozeným světlem je zajištěno nadsvětlíky vstupů do jednotlivých ložnic. Ložnice jsou uspořádané podél obou protilehlých obvodových stěn stavby. Mezi dvojicí chodeb se nacházejí prostory sociálního zařízení.

Obytná křídla budov D a E jsou koncipována jako standardní bytové jednotky o velikosti dispozice 1kk a 2kk, určené pro individuální či párové bydlení. Jednotlivé bytové jednotky jsou rovněž umístěny podél obvodových stěn stavby s mezilehlou obslužnou chodbou. Každá z bytových jednotek má vlastní koupelnu a kuchyňský kout.

Podrobné provozní řešení běžných nadzemních podlaží viz Přílohy 2.07 a 2.08.

3.1.4.5 Střešní podlaží

Vnitřní prostory střešních podlaží jsou tvořeny zvýšenou středovou komunikační sekci, doplněnou o technickou místnost, obsahující akumulaci nádrže přečištěných odpadních vod. Součástí střešních sousedních obytných křídel budovy A a B je společná pobytová terasa, určená pro obyvatele objektů. Terasa slouží jako klidová zóna a je vybavena množstvím rekreačního mobiliáře.

Podrobné provozní řešení střešního podlaží viz Příloha 2.09 – Půdorys střešní podlaží.

3.2 NÁVRH SYSTÉMU RECYKLACE ODPADNÍCH VOD

3.2.1 ZÁMĚR A CELKOVÁ KONCEPCE

Primárním cílem navrhovaného systému je celkové snížení spotřeby pitné vody a zajištění dostatečného množství závlahové užitkové vody, umožňující rozsáhlou instalaci prvků intenzivních vegetačních střech a fasád. Záměr užití těchto prvků vyplývá ze stanovené urbanisticko-architektonické koncepce stavby, respektování současného směru výstavby příslušné obce a požadavků na hospodaření se srážkovými vodami dle stavebního zákona č. 283/2021 Sb.

Účelem práce je analýza dostupných možností a následný návrh efektivního způsobu využívání odpadních vod, bez výrazných dodatečných nákladů na provoz, s přiměřenou dobou návratnosti pořizovacích investic. Základním předpokladem navrhovaného systému je maximální využívání srážkových odpadních vod s doplněním o přečištěné mírně znečištěné šedé odpadní vody. Při výběru konkrétního prvků systému budou použity moderní zařízení, zajišťující dostatečnou kvalitu recyklovaných vod.

3.2.2 VSTUPNÍ ÚDAJE

3.2.2.1 Výpočet ročního objemu srážek

Pro účely opětovného použití budou jímány všechny srážkové vody, odváděné z povrchů staveb. Jedná se v zásadě o dva primární zdroje srážkových vod, kterými jsou střechy jednotlivých budov a podlahová plocha podzemního podlaží, vymezená otvory světlíků. Zbývající plocha zastřešení 1. PP, nacházející se mezi liniemi budov, nebude díky navržené mocnosti zeminy a napojení na okolní terén využívána pro zisk srážkových vod. Odhadované množství využitelných srážkových vod bylo, dle přílohy č. 16 k vyhlášce č. 428/2001 Sb., stanoveno přibližně na 1 100 m³/rok.

Tabulka 1 – Využitelné množství srážkových vod za rok

typ plochy	výměra m ²	odtok koef.	reduk. pl. m ²
extenzivní vegetační střecha (budova A-E)	3 885,0	0,3	1 165,50
střecha s kačířkovým násypem (budova A-E)	342,9	0,6	205,74
Zpevněná plocha - pobytová střešní terasa	315,0	0,8	252,00
Součet redukovanych ploch [m ²]			1 623,24
Dlouhodobý srážkový normál 1991-2020 - plzeňský kraj [mm]			686,00
Využitelné množství srážkových vod/rok [m ³]			1 113,54

3.2.2.2 Požadavky na závlahovou vodu

Požadované množství závlahové vody pro navržené vegetační prvky bylo podrobně stanoveno pomocí bilanční rovnice dle ČSN 75 0434 Meliorace – potřeba vody pro doplňkovou závlahu, ve tvaru:

$$M_z = k_z \times (r_1 \times V_c - r_2 \times \alpha \times S_v - r_3 \times W_z - W_k) \text{ [m}^3\text{/ha]}$$

kde je:

k_z	ztrátový součinitel vyjadřující průměrný podíl všech ztrát závlahové vody, s výjimkou ztrát v přivaděči
V_c	celková vláhová potřeba zavlažované plodiny za vegetační období v m ³ /ha
α	součinitel využitelnosti srážek
S_v	dlouhodobý průměr srážek za vegetační období plodiny v m ³ /ha
W_z	využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období v m ³ /ha
W_k	využitelné množství vztlínající podzemní vody v m ³ /ha
r_1	redukční součinitel pro úpravu V_c v závislosti na nadmořské výšce
r_2	redukční součinitel pro úpravu α v závislosti na nadmořské výšce
r_3	redukční součinitel pro úpravu W_z v závislosti na druhu půdy a sklonu terénu

V závislosti na charakteru navržených vegetačních prvků v podobě intenzivních vegetačních střeš a fasád jsou definovány požadavky na jejich doplňkovou závlahu. Zavlažovací systém bude realizován v rámci vegetačních střeš jednotlivých budov, včetně pobytové terasy na budově A a B, u modulárních fasádních prvků a travních ploch vegetační střeš podzemního podlaží. Pro zbývající vegetační plochy v okolí budov, umístěných na přirozeném terénu, se uvažuje pouze příležitostné zavlažování v letních měsících. Tyto plochy nejsou do výpočtu doplňkové závlahy zahrnuty.

Vegetační střeš budov jsou navrženy jako přírodní luční plochy, jejichž cílem je částečné zachování stávajícího charakteru území. V místě pobytové terasy jsou luční plochy nahrazeny zpevněnými, nebo travními plochami s doplněním o okrasné traviny či nízké dřeviny. Zavlažování zmíněných ploch je zajištěno rozstřikovači. Modulární fasádní panely budou tvořeny závěsnými koši s geotextilní lícovou stranou, umožňující prorůstání vegetace, která bude tvořena vhodně zvolenou kombinací zelených rostlin. Závlaha bude zajištěna integrovanými rozvody kapkové závlahy. Vegetační střeš podzemního podlaží, nacházející se v rámci komunikačního prostranství mezi liniemi budov, bude opatřena silnou vrstvou zeminy a osázena vegetací v podobě travních ploch, okrasné vegetace a nízkých i vysokých dřevin. V místě navržených dřevin dojde k navýšení celkové tloušťky zeminy, jež zajistí dostatečný prostor k tvorbě kořenového systému. Zavlažování bude zajištěno rozstřikovači, případně mikrozávlahou.

Na základě uvedeného charakteru použité vegetace byla, dle přílohy B k výše uvedené normě, pro všechny zavlažované plochy zvolena kategorie louka. Vzhledem ke zvýšeným akumulacím schopnostem a obdobným hodnotám pro ovocné stromy, byla kategorie louka použita také pro vegetační střechu podzemního podlaží, obsahující dřeviny. Směrná hodnota celkové vláhové potřeby pro louku tvoří 4 500 m³/ha v rámci vegetačního období od 1.4 do 31.10.

Tabulka 2 – Jednotkové závlahové množství

ozn. typ závlahy	závlahové množství Mz v m ³ /m ²											
	led	úno	bře	dub	kvě	čer	čvc	srp	zář	říj	lis	pro
Z1 vegetační střecha	0	0	0	0,062	0,060	0,059	0,058	0,059	0,061	0,061	0	0
Z2 vegetační fasáda	0	0	0	0,057	0,055	0,054	0,053	0,054	0,056	0,056	0	0
Z3 vegetační střecha 1.PP	0	0	0	0,062	0,060	0,058	0,058	0,059	0,061	0,061	0	0

Tabulka 3 – Celkové závlahové množství

ozn.	množství m ²	závlahové množství v m ³												celkem/rok m ³
		led	úno	bře	dub	kvě	čer	čvc	srp	zář	říj	lis	pro	
Z1	3 489,9	0	0	0	216,1	208,7	204,2	203,9	205,5	212,6	213,4	0	0	1 464,41
Z2	1 617,6	0	0	0	91,6	88,5	86,6	86,4	87,1	90,1	90,5	0	0	620,81
Z3	1 250,0	0	0	0	77,1	74,4	72,8	72,7	73,3	75,9	76,1	0	0	522,40
celkem/měs.		0	0	0	384,8	371,6	363,6	363,1	365,9	378,7	380,1	0	0	2 607,61

Podrobný výpočet množství závlahové vody viz Příloha 3 – Výpočtová část.

3.2.2.3 Stanovení spotřeby vody

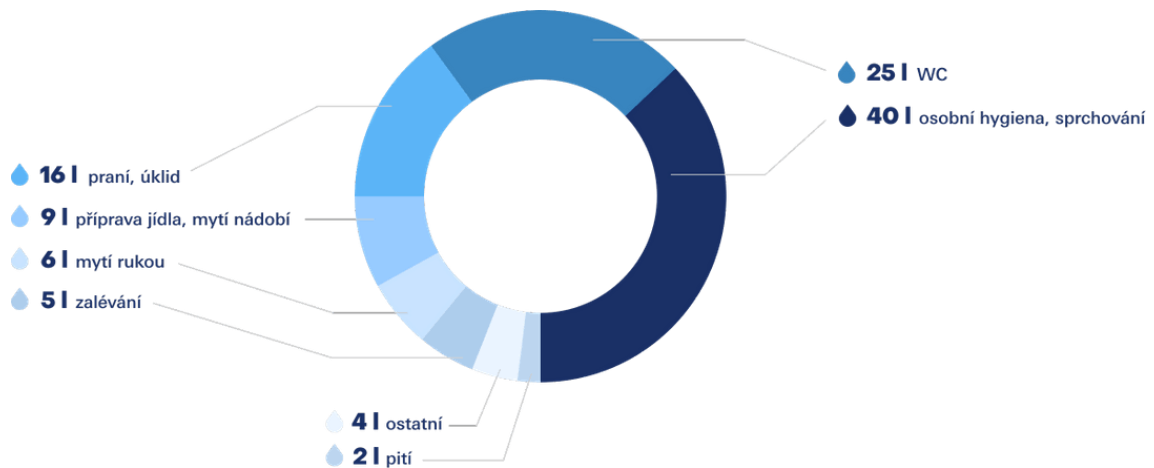
Pro potřeby návrhu a následného posouzení systému pro recyklaci odpadních vod byla podrobně stanovena celková spotřeba vody v rámci referenčního areálu. Jednotlivé spotřební režimy byly vyčísleny na základě přílohy č. 12 vyhlášky č. 120/2011 Sb., případně směrnice MVLH č. 9/73. Z níže uvedené tabulky jasně vyplývá, že výrazná většina spotřeby celého areálu připadá na provoz ubytování, jež tvoří bezmála 83 %. Druhá v pořadí je pak potřeba vody pro zavlažování vegetačních střech a fasád, která tvoří přibližně 10,5 % z celkové roční spotřeby. Jedná se o volitelnou spotřebu, vzniklou pouze na základě architektonického návrhu stavby. Z tohoto důvodu je nanejvýš vhodné, zajistit pro zavlažování alternativní zdroj, ideálně v podobě akumulované srážkové vody.

Tabulka 4 – Výpočet roční spotřeby vody

režim spotřeby	množství m ² ; osoba	doba trvání den	spotřeba/ks m ³	celk. spotřeba/rok m ³
1.PP (komplet)				32,85
tělocvična*	3	365	0,060	32,85
1.NP (komplet)				1 415,37
vrátnice**	1,5	365	0,056	30,66
údržba	1	250	0,056	14,00
administrativa	3	250	0,056	42,00
kavárna - bez mytí	4	365	0,164	240,00
kavárna - mytí	2	365	0,164	120,00
prodej	52	250	0,056	728,00
fitness*	5	365	0,060	54,75
sport - obecně*	7	365	0,060	76,65
studovna*	25	365	0,025	109,31
běžné (A, B, C)				14 875,00
ubytování	510	365	0,096	14 875,00
běžné (D,E)				5 570,83
ubytování	191	365	0,096	5 570,83
celý areál				2 747,95
běžný úklid - personál	22	52	0,072	82,37
mimořádný úklid - personál	25	2	0,072	3,60
úklidový stroj	21000	52	0,000	40,95
mytí oken	4474,5	2	0,002	13,42
vegetační střecha	3489,925	-	-	1 464,41
vegetační fasáda	1617,6	-	-	620,81
vegetační střecha 1.PP	1250	-	-	522,40
Celková roční spotřeba vody pro navržený areál				24 642,01
*zahrnutí pouze externích návštěvníků, stanoveno odhadem jako 25% z celkové kapacity				
**12 hodinová směna				

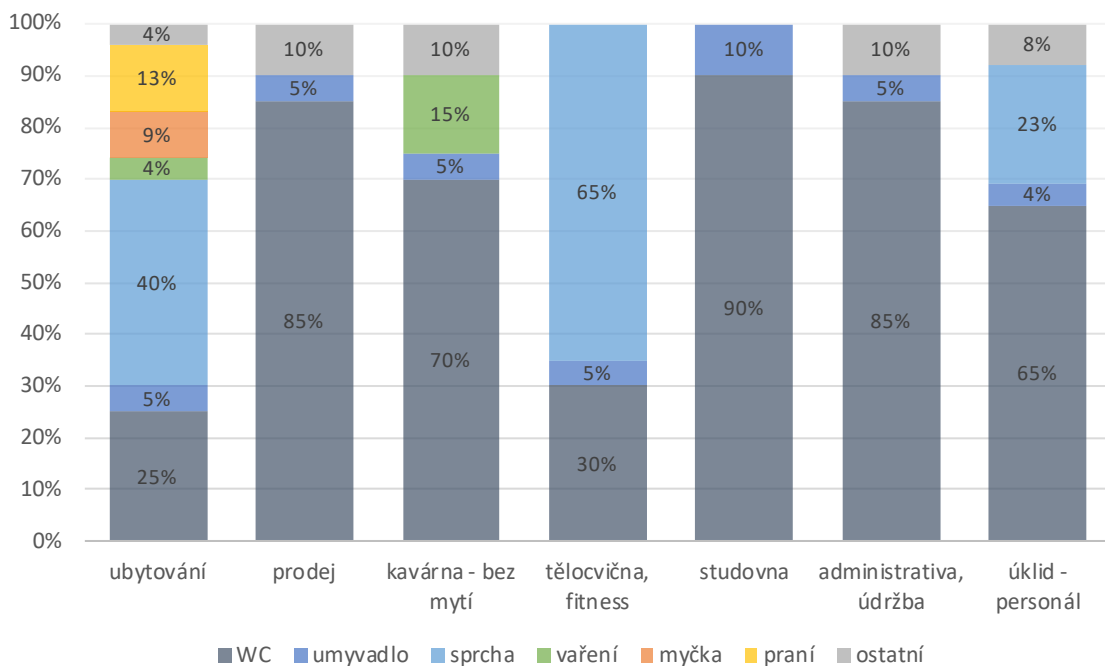
3.2.2.4 Zdroje odpadních vod

Mezi uvažované zdroje odpadních vod určených k přečištění řadíme veškeré srážkové a mírně znečištěné šedé vody, vznikající při provozu objektů. Pro podrobnější stanovení množství využitelných odpadních vod bylo zapotřebí dále rozdělit jednotlivé spotřební režimy dle typu spotřeby. Pro převažující způsob užívání, v podobě vysokoškolského ubytování, byla implementována již existující data rozložení spotřeby vody v české domácnosti.



Obrázek 7 – Členění spotřeby vody v české domácnosti (30)

Na základě mírných odlišností mezi jednotlivými zdroji a obdržených informací z osobní konzultace se Správou kolejí a menz ZČU, došlo u některých typů spotřeb k přizpůsobení procentuálních hodnot. Z důvodu nedostatečného množství dat členění ostatních spotřebních režimů, byl pro zjištění údajů proveden odborný odhad s doplněním modelových případů, vyčíslených umělou inteligencí. Vzhledem k celkovému množství návrhových kapacit, viz [Tabulka 4 – Výpočet roční spotřeby vody](#) lze konstatovat, že případná odchylka odhadovaného procentuálního dělení ostatních spotřebních režimů, bude mít zanedbatelný vliv na výsledné množství využitelných odpadních vod.



Obrázek 8 – Graf navrženého členění spotřebních režimů

3.2.3 NÁVRHOVÉ HODNOTY

Pro účely opětovného využití byly vybrány veškeré srážkové vody ze střech objektů a dále pak šedé odpadní vody vzniklé při osobní hygieně a praní. Vzhledem k průchodu skrz vegetační či kačírkové střešní souvrství a celkovému množství, budou srážkové vody skladovány a využívány jednotně spolu s vodami šedými.

Tabulka 5 – Celkové množství využitelných odpadních vod

zdroj vody	využitelné množství v m ³												celkem/rok m ³
	led	úno	bře	dub	kvě	čer	čvc	srp	zář	říj	lis	pro	
srážková	74,7	60,1	74,7	64,9	110,4	138,0	139,6	129,9	86,0	81,2	73,0	81,2	1 113,54
šedá	707,3	936,8	936,8	936,8	707,8	707,3	475,9	475,9	936,4	936,8	937,3	707,3	9 402,48
celkem/měs.	782,0	996,9	1 011,5	1 001,8	818,2	845,3	615,5	605,7	1 022,4	1 018,0	1 010,4	788,5	10 516,02

3.2.4 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI SYSTÉMU

3.2.4.1 Jímání a distribuce

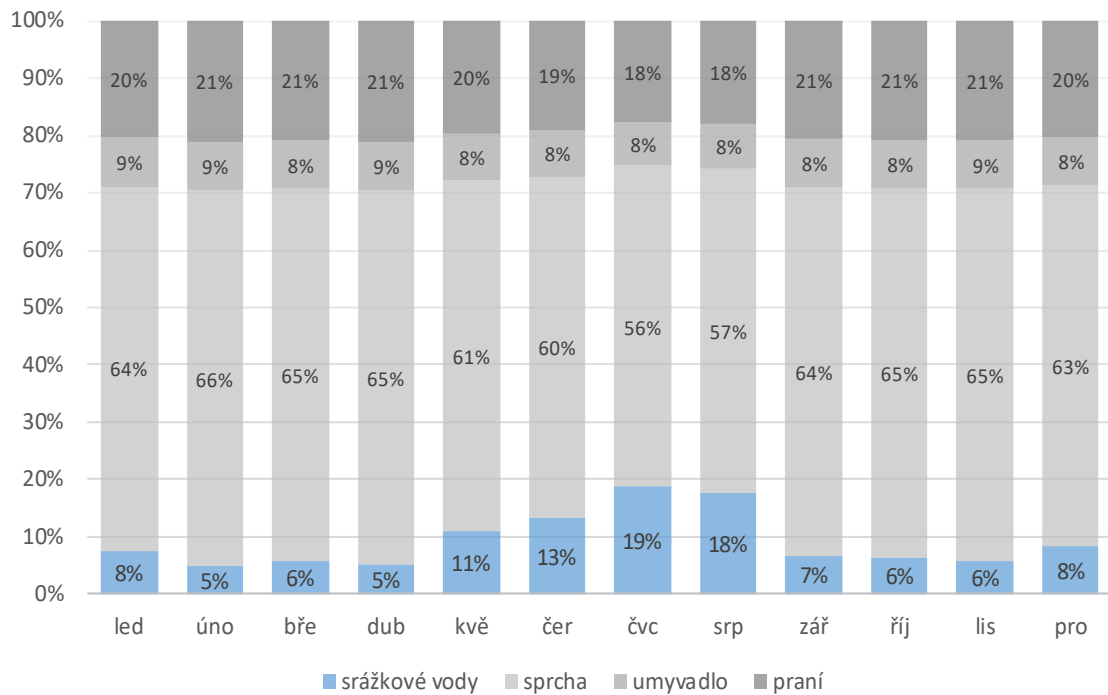
Jímání srážkových vod ze střech objektů je zajištěno pomocí střešních vpustí, rozmístěných v dostatečném počtu a na vhodných místech. Pro snadnou kontrolu a čištění jsou vpusti opatřeny revizní šachtou. Srážkové odpadní vody jsou pomocí vnitřního svodného potrubí transportovány pod úroveň stropní desky, kde jsou postupně svedeny do prostoru areálové čistírny odpadních vod.

Vybrané šedé odpadní vody, určené k dalšímu využití, jsou odváděny samostatným okruhem splaškové kanalizace. Rozvody samostatného okruhu jsou z nadzemních podlaží svedeny paralelně s rozvody standardní vnitřní kanalizace do úrovně 1. PP, kde se postupně rozdělují. Potrubí je v podzemním podlaží vedeno obdobně jako kanalizace srážková v podvěsu pod stropní konstrukcí. Okruh splaškových vod pro další využití je rovněž směřován do prostorů úpravny vody. Nevyužívané odpadní vody jsou odvedeny kanalizační přípojkou do veřejné městské kanalizace v ulici Technická.

3.2.4.2 Čištění

Prvotní hrubé předčištění srážkových vod je zajištěno již samotným vegetačním souvrstvím střechy, která vodu zbaví veškerých pevných látek větších rozměrů. Po transportu ze střech objektů jsou srážkové vody dále přečištěny průtokem skrz rukávový filtr *WONDERFIL Wardfil*, jež vodu zbaví i drobných pevných částic. Přečištěné vody budou následně zavedeny do centrální akumulární nádrže, kde dojde k jejich smísení s bílou vodou. Směšování vod je v rámci systému navrženo na základě jejich společného způsobu využití, obdobné výsledné kvality a výrazně menšího množství ve srovnání

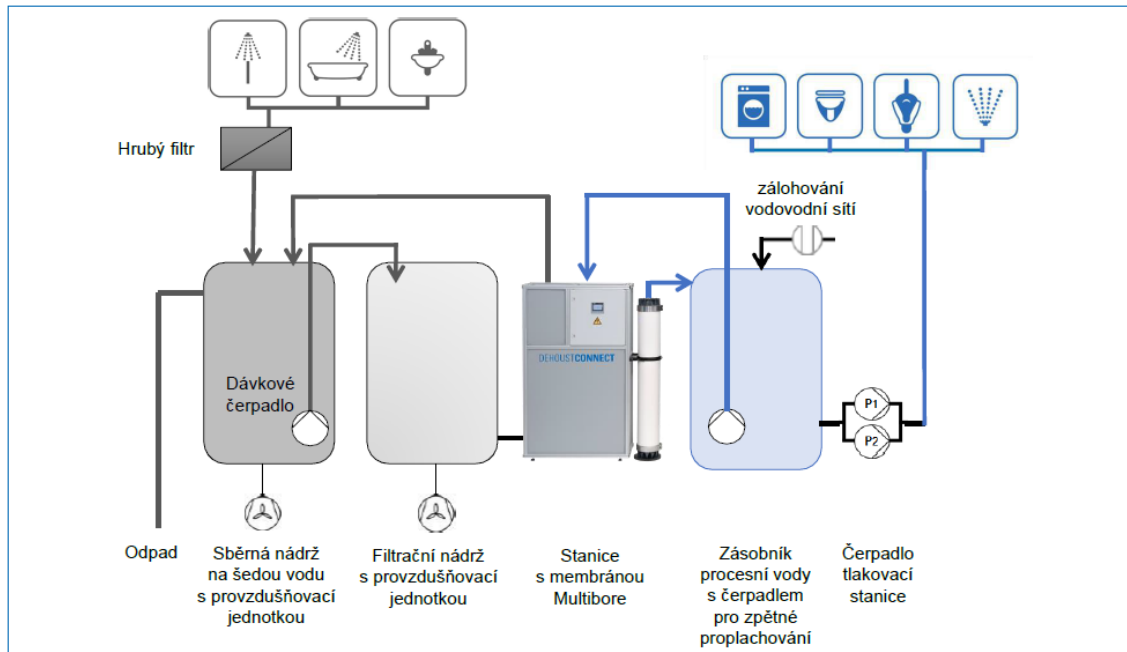
s využitelnými odpadními vodami. V měsíci s nejvyšším úhrnem srážek dosahuje tato akumulace pouze necelých 20 % z celkového objemu využitelných vod.



Obrázek 9 – Graf podílu zdrojů pro čištění vod

Pro čištění vybraných odpadních vod, vzniklých v rámci potřeb osobní hygieny a praní, je v podzemních prostorech navržena domovní čistírna šedých vod. Definice zdrojů šedých vod byla provedena na základě vyčíslení měsíční bilance využitelného a požadovaného množství přečištěných vod. Na základě návrhových hodnot byla vybrána dvojice biologicko-fyzikálních čistíren *DEHOUST GWtec MB 440 W*, založených na víceúrovňovém způsobu čištění s využitím ultrafiltrace. Použití odpadních vod vzniklých praním je v přímém rozporu s pokyny výrobce ČOV, který jej nedoporučuje z důvodu zvýšeného rizika chemického znečištění. Pro vzniklý problém je navrženo řešení v podobě optimalizace provozního řádu, při kterém budou používány pouze ekologicky šetrné prací prostředky.

Před zahájením procesu čištění jsou přiváděné odpadní vody ošetřeny prvkem hrubého předčištění v podobě rukávového filtru *WONDERFIL Wardfil*. Účelem filtr je zbavení šedých vod nežádoucích nerozpuštěných látek v podobě vlasů a textilních vláken.



3.2.4.3 Akumulace

Pro akumulaci přečištěných odpadních vod a využitelných srážkových vod je v rámci 1. PP navržena velkoobjemová centrální nádrž z vodostavebního betonu. Na centrální akumulací nádrž bude z prostoru úpravný vody napojeno 5 čerpadel, která budou dále rozvádět bílé vody do jednotlivých objektů. Součástí nádrže jsou také pojistný přepad a výpust určená ke kompletnímu servisnímu vyprázdnění. Oba zmíněné prvky budou zaústěny do vsakovacích průlehu podél cyklostezky. Servisní přístup je zajištěn bočním otvorem, nacházejícím se pod stropem úpravný.

S centrální akumulací nádrží sousedí obdobná nádrž se zhruba poloviční kapacitou, která slouží jako retenční nádrž pro přiváděné odpadní vody v době nadměrných přítoků. Retenční nádrž šedých vod je rovněž opatřena pojistným přepadem a výpustí, nyní však zaústěnými do veřejné kanalizace. Servisní přístup je shodného provedení, jako přístup do akumulací nádrže.

Užitkové vody jsou z centrální nádrže pravidelně odčerpávány do menších provozních nádrží, umístěných v technické místnosti střešního podlaží, v rámci každé z budov. Jedná se o 3 samonosné vertikální PVC nádrže, z nichž dvě slouží pro zásobování obytných křídel budov a zbylá pro závlahu vegetačních střeš a fasád.

Stanovení velikosti centrální akumulční nádrže

Stanovení objemu akumulční nádrže vychází z maximální denní potřeby přečištěné vody se závislostí na zvoleném intervalu její výměny. Maximální denní potřeba byla stanovena pro měsíc s nejvyšším požadovaným množstvím, viz [Tabulka 6 – Bilance využití přečištěných vod](#). Na základě charakteru spotřeby a hygienických požadavků na uchovávání přečištěných odpadních vod byla pro objem nádrže stanovena výměna s třídním intervalem.

$$V_{AN} = \left(\frac{V_{max/den}}{31} \right) * c = \left(\frac{988,2}{30} \right) * 3 = 98,82 \approx \mathbf{100 m^3}$$

kde je:
 V_{AN} objem akumulční nádrže
 $V_{max/den}$ maximální denní potřeba
 c interval výměny

3.2.4.4 Využívání

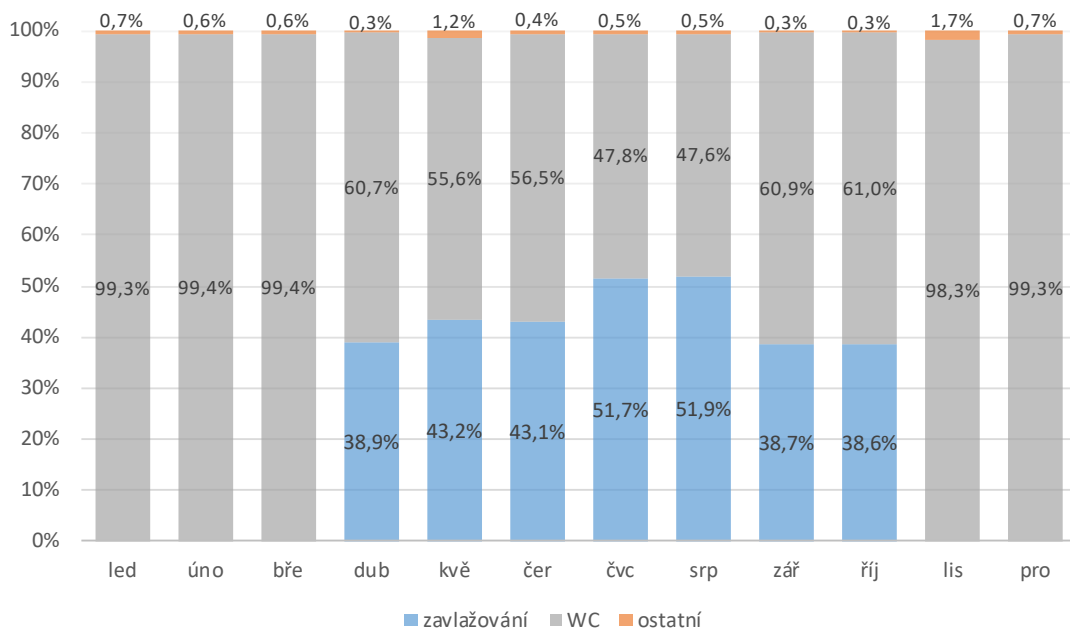
Přečištěné odpadní vody jsou v rámci navrženého systému využívány jednotně, tj. při procesu čištění dochází k jejich směšování v centrální akumulční nádrži. Z té jsou následně transportovány samostatným vodovodními rozvody užitkových vod. Kombinací zvolených zdrojů odpadních vod a způsobů jejich využívání bylo docíleno celoroční kladné bilance, jež má za následek dostatečný přísun užitkové vody a díky nízkému podílu obsažených srážkových jí lze považovat za stabilní zdroj. Díky zvýšenému odběru v podobě závlahové vody v rámci letních měsíců se vytíženost systému pohybuje od 50 do 95 %. Díky sníženému průtoku čištěných vod může navržené čistící zařízení pracovat na nižší výkon, který se může pozitivně odrazit na celkové době životnosti.

Tabulka 6 – Bilance využití přečištěných vod

název	množství vody v m ³												
	led	úno	bře	dub	kvě	čer	čvc	srp	zář	říj	lis	pro	rok
přečištěné vody	981,3	1 262,7	1 277,3	1 267,6	1 017,5	1 044,6	748,4	738,6	1 288,2	1 283,8	1 276,2	987,8	13 174,0
srážkové vody	74,7	60,1	74,7	64,9	110,4	138,0	139,6	129,9	86,0	81,2	73,0	81,2	1 113,5
šedé vody	906,6	1 202,6	1 202,6	1 202,6	907,1	906,6	608,8	608,8	1 202,2	1 202,6	1 203,1	906,6	12 060,4
požadované množství	479,9	603,4	603,4	988,2	859,3	843,4	702,3	705,2	977,8	983,5	611,3	479,9	8 837,4
WC	476,5	600,0	600,0	600,0	477,6	476,5	335,8	335,8	595,7	600,0	601,1	476,5	6 175,5
úklidový stroj	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	41,0
mytí oken	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	13,4
vegetační střecha	0,0	0,0	0,0	216,1	208,7	204,2	203,9	205,5	212,6	213,4	0,0	0,0	1 464,4
vegetační fasáda	0,0	0,0	0,0	91,6	88,5	86,6	86,4	87,1	90,1	90,5	0,0	0,0	620,8
vegetační střecha 1.PP	0,0	0,0	0,0	77,1	74,4	72,8	72,7	73,3	75,9	76,1	0,0	0,0	522,4
výsledná bilance	501,4	659,3	673,9	279,4	158,2	201,2	46,0	33,4	310,4	300,3	664,9	507,9	4 336,5
míra využití	48,9%	47,8%	47,2%	78,0%	84,5%	80,7%	93,9%	95,5%	75,9%	76,6%	47,9%	48,6%	67,1%

V rámci vnitřního provozu budov je drtivá většina přečištěných vod využívána pro splachování toalet. Užité vody jsou do splachovacích nádrží přiváděny gravitačně samostatným vodovodním okruhem z provozních zásobníků střešního podlaží. Vodovod užité vody je dále zaveden do vybraných míst, zejména v rámci technického zázemí areálu. K dalším využitím uvnitř budov řadíme především úklidové práce.

Ve vnějším prostředí jsou užité vody využívány pro zavlažování tří rozdílných typů ploch. První plochou jsou luční plochy intenzivních vegetačních střechy, jež jsou opatřeny integrovanými rozvody s rozstříkovači. Druhým typem ploch jsou modulární prvky vegetačních fasád, u nichž je využito systému kapkové závlahy. Přívodní potrubí jsou vedena uvnitř dutých kordonových říms s přímým napojením na lokální rozvod kapkové závlahy, integrované v souvrství každého z panelů. Poslední zavlažovaná plochou je intenzivní vegetační střecha, nacházející se pod pěším prostranstvím mezi liniemi budov. Zavlažování je řešeno pomocí rozstříkovačů, rozmístěných na vybraných místech, v závislosti na poloze zpevněných ploch a mobiliáře. Vzhledem k přebytku přečištěných vod je možné je využít na doplňkovou závlahu ostatních travních ploch, zejména při výkyvech srážkových úhrnů. Vody mohou být rovněž využívány k čištění zpevněných ploch, fasádních desek či doplňování vody do jezírka.



Obrázek 11 – Graf podílu využití přečištěných vod

3.2.4.5 *Likvidace*

Pro účely likvidace přebytečných srážkových, či přečištěných odpadních vod, je navržena soustava vsakovacích průlehů. Průlehy jsou situovány v jižní části území, podél stávající cyklostezky. V tomto místě se, díky stromořadí vzrostlých dřevin, předpokládá výborná akumulace vsakovaných vod. Dle mapy potenciálního vsaku, vedeného Ministerstvem životního prostředí, se území stavby nachází v místě s vysokou až velmi vysokou mírou vsaku.

Do soustavy vsakovacích průlehů bude vyvedeno potrubí pojistného přepadu a výpust z centrální akumulární nádrže přečištěných vod, retenční nádrže šedých vod a čistících jednotek, umístěných v úrovni 1.PP. Dále bude realizováno odvodnění srážkových vod vniklých otevřenými světlíky do prostoru podzemních garáží, včetně zpevněné plochy příjezdové komunikace.

Orientační poloha vsakovacích průlehů viz Příloha 1 – Umístění referenční stavby.

3.3 POSOUZENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU

Závěrečné posouzení efektivity navrženého systému bude provedeno v rámci čtyř základních návrhových stavů, zohledňujících volitelné využití vegetačních střech a fasád. Do posouzení nebudou zahrnuty pořizovací náklady těchto prvků a náklady vyvolané zvýšeným zatížením na nosné konstrukce, ani jejich případné úspory v rámci dalších oblastí, kam řadíme například tepelně-technická opatření a interiérové mikroklíma.

Návrhový stav 1

- S využitím odpadních vod
- S vegetačními střechami a fasádami

Návrhový stav reprezentuje architektonický záměr referenční stavby, v podobě intenzivních vegetačních střech a fasád, doplněný o snahu úspory nákladů za pomoci využití odpadních vod.

Návrhový stav 2

- Bez využití odpadních vod
- Bez vegetačních střech a fasád

Návrhový stav reprezentuje standardní stavby bez zvýšených nároků na závlahu, s běžným způsobem odvádění odpadních vod do veřejné kanalizace.

Návrhový stav 3

- S využitím odpadních vod
- Bez vegetačních střech a fasád

Jedná se o návrhový stav, který reprezentuje běžnou stavbu bez zvýšených nároků na zavlažování, doplněný o úspory provozních nákladů za pomoci využívání odpadních vod. Vzhledem ke sníženým požadavkům na množství přečištěných odpadních vod, vlivem absence zavlažování, dojde k instalaci recyklačního systému s nižší kapacitou.

Návrhový stav 4

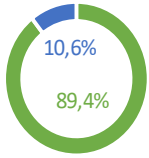


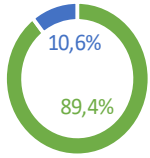
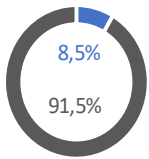
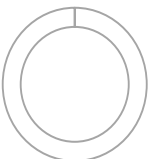
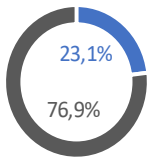
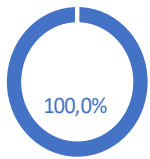
- Bez využití odpadních vod, s využitím srážkových vod pro závlahu
- S vegetačními střechami a fasádami

Jedná se stav, kdy navržená referenční soustava, včetně zvýšených požadavků na závlahu, nevyužívá systém čištění odpadních vod. V návrhovém stavu se předpokládá pouze s využíváním akumulovaných srážkových vod pro nutnou závlahu. Výhodou je absence pořizovacích nákladů spojených s instalací systému na recyklaci odpadních vod.

3.3.1 EKOLOGICKÉ POSOUZENÍ

V rámci ekologického posouzení systému pro recyklaci odpadních vod bude pro jednotlivé návrhové stavy provedeno vyhodnocení dopadů na životní prostředí. Cílem posouzení je stanovení roční výše úspory odebírané pitné vody a snížení zátěže na centrální čistírnu odpadních vod vlivem odvodu odpadních vod do veřejné kanalizace.

Tabulka 7 – Ekologické posouzení návrhových stavů

STAV	NS 1	NS 2	NS 3	NS 4
POTŘEBA VODY	24 642,0 m³ závlaha 2 607,6 provoz 22 034,4 	22 034,4 m³ závlaha 0,0 provoz 22 034,4 	22 034,4 m³ závlaha 0,0 provoz 22 034,4 	24 642,0 m³ závlaha 2 607,6 provoz 22 034,4 
VYUŽITÍ VOD	13 174,0 m³ srážkové 1 113,5 šedé 12 060,4  využíváno 8 837,4 přebytek 4 336,5 efektivita systému 67,1%	0,0 m³ srážkové 0,0 šedé 0,0  využíváno 0,0 přebytek 0,0 efektivita systému -	10 798,0 m³ srážkové 2 493,1 šedé 8 304,9  využíváno 6 229,8 přebytek 4 568,2 efektivita systému 57,7%	1 113,5 m³ srážkové 1 113,5 šedé 0,0  využíváno 1 113,5 přebytek 0,0 efektivita systému 100,0%
BILANCE	celkový odvod do kanalizace 17 697,9 m³ 80,3% úspora pitné vody 8 837,4 m³ 35,9%	celkový odvod do kanalizace 22 034,4 m³ 100,0% úspora pitné vody 0,0 m³ 0,0%	celkový odvod do kanalizace 17 466,2 m³ 79,3% úspora pitné vody 6 229,8 m³ 28,3%	celkový odvod do kanalizace 22 034,4 m³ 100,0% úspora pitné vody -380,5 m³ -1,5%

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že v případě staveb s charakterem bytové výstavby je díky instalaci systému na využívání odpadních vod možné dosáhnout roční úspory pitné vody bezmála 36 %. V případě posuzované referenční stavby se jedná o snížení nároků na dodávku pitné vody o téměř 8 840 m³. Toto množství přibližně odpovídá aktuální roční spotřebě 67 běžných domácností v České republice, případně objemu více než 3,5 olympijských plaveckých bazénů. Vlivem nerovnoměrné spotřeby přečištěných vod dochází k přebytkům v podobě 1/3 přečištěných vod, jež jsou určeny k vsakování. Vsakováním těchto přebytků dojde k téměř 60% navýšení vráceného množství vod do podloží, ve srovnání se vsakováním srážkových vod odváděných z totožné stavby se střechami z povlakové izolace. Vlivem využívání části produkovaných šedých vod k závlaze a vsakováním jejich přebytků dojde ke snížení ročního objemu odváděných splaškových vod o zhruba 20 %, za předpokladu, že srážková voda bude vždy vsakována nebo odváděna dešťovou kanalizací.

V případě standardně řešené stavby, bez instalace intenzivní vegetačních střešů a fasád (návrhový stav 3), dosahuje celková výše ročních úspor dodávané pitné vody 28 %, tj. v případě referenční stavby 6 230 m³. Snížená míra úspor pitné vody je dána absencí závlahové potřeby a zvýšenými zisky srážkové vody, která nově tvoří téměř 1/4 využitelných vod. V rámci třetího návrhového stavu by tak patrně došlo k úpravě způsobu čištění, kdy by se již vyplatilo nepřivádět srážkové vody do ČOV, nýbrž směřovat je přes mechanické čištění přímo do akumulární nádrže. Absencí významného odběru pro závlahové vody dochází k mírnému zhoršení využitelnosti navrženého zdroje odpadních vod, s přebytkem nad 40 %. Výsledné navýšení vsakovaných vod tak přibližně odpovídá prvnímu návrhovému stavu. Výsledné množství odvodu splaškových vod rovněž vykazuje snížení okolo 20 %.

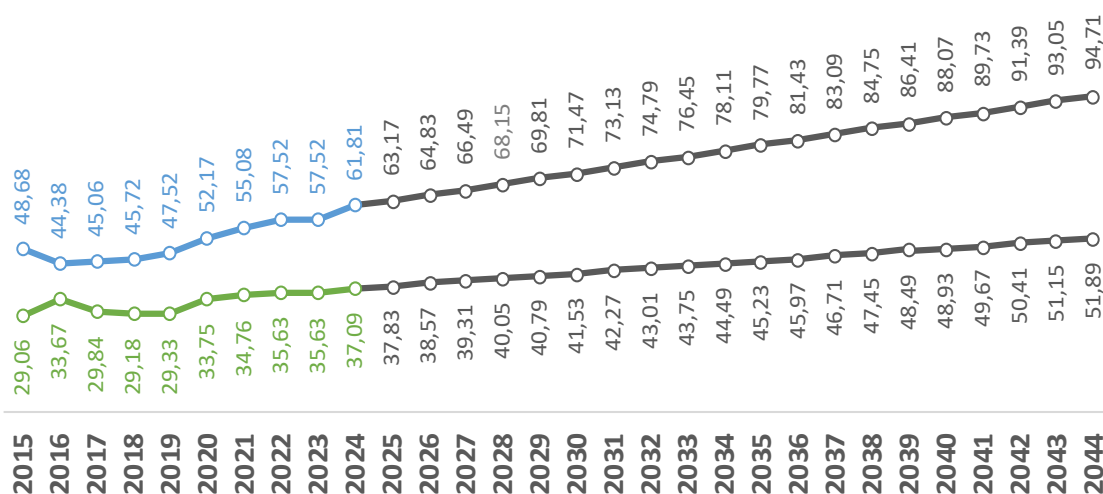
U navrhované stavby, včetně použití intenzivních vegetačních prvků, bez využívání recyklace odpadních vod (návrhový stav 4), dochází k mírnému zvýšení odběru pitné vody pro účely zavlažování. V případě referenční stavby není možné navržené množství v daném charakteru zavlažovat bez dodatečného zdroje vody. Možným řešením je redukce počtu vegetačních prvků, případně částečná náhrada o prvky s nižší potřebou závlahy. Příkladem může být záměna intenzivní vegetační střechy za extenzivní.

3.3.2 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

3.3.2.1 Vyčíslení vstupních nákladů

Součástí ekonomického posouzení jsou pouze zařízení a konstrukce, přímo spojená se systémem pro recyklaci odpadních vod a která přímo ovlivňují výslednou spotřebu vody. Z tohoto důvodu nejsou zahrnuty například rozvody vegetační závlahy, nebo svody odvádějící srážkové vody do centrální akumulární nádrže.

Pro účely stanovení odpovídající doby návratnosti recyklačního systému byla, pro oblast umístění referenční stavby, provedena predikce vývoje cen vodného a stočného. Výše budoucích cen byla vyčíslena za pomoci metody lineární regrese, po dobu minimální návrhové životnosti 20 let.



Obrázek 12 – Predikce vývoje cen vodného a stočného (zdroj dat: vodarna.cz)

Pro stanovení pořizovacích nákladů byly použity hrubé ceny výrobců, poskytnuté společností *Koncept Ekotech s. r. o.*, jež je dodavatelem a zpracovatelem komplexních řešení v oblasti recyklace odpadních vod. Součástí rozpočtu jsou pouze primární komponenty navrženého systému, bez dalších nezbytných součástí, jejichž výčet a výsledné ceny je možné stanovit až v případě podrobného návrhu. Do servisních nákladů použitých zařízení byla zahrnuta pouze doporučená periodicita výměny filtrů.

Výsledky ekonomického posouzení se tak mohou více či méně lišit od skutečnosti, pro jejichž zpřesnění by byla zapotřebí hlubší odborná analýza dané problematiky, včetně detailního rozboru vazeb na další technická odvětví.

Podrobný položkový rozpočet pro návrhové stavy viz Příloha 3 – Výpočtová část.

3.3.2.2 Likvidace nadbytečných vod

Na základě výsledků ekologického posouzení byly zjištěny významné přebytky přečištěných odpadních vod, pro něž v rámci provozu stavby není využití. Vystává tedy otázka, zda je výhodnější tuto nadbytečnou odpadní vodu čistit a následně vsakovat na pozemku, nebo zda ji odvádět za cenu stočného do veřejné kanalizace.

- a) Čištění se vsakem na pozemku

$$\text{množství vody} * \text{spotřeba ČOV} * \text{cena kWh} = 4\,336,5 * 0,5 * 10,86 = \mathbf{23\,550\,Kč}$$

- b) Odvod do veřejné kanalizace

$$\text{množství vody} * \text{stočné (2025)} = 4\,336,5 * 37,83 = \mathbf{164\,050\,Kč}$$

Hrubá kalkulace navrhovaných možností vychází jednoznačně ve prospěch, kdy dochází k čištění všech dostupných odpadních vod a jejich následnému vsakování. I přesto, že v případě možnosti a) nejsou zahrnuty dodatečné náklady např. na výměnu filtrů, lze předpokládat že případná odchylka nedokáže cenově zvýhodnit možnost b), u které navíc platí, že s postupem času dochází k navyšování cen – viz Obrázek 12.

3.3.2.3 Dotační programy

Dodatečného snížení vstupních nákladů lze docílit využitím některého z dostupných dotačních programů. V současné době se jedná výhradně podoblast D.2 s názvem *Dešťovka – dešťová a odpadní voda*, spadající pod program *Nová zelená úsporám* vydávaným Ministerstvem životního prostředí, jejímž cílem je snižování energetické náročnosti rodinných a bytových domů. Podoblast D.2 je dále rozdělena do tří kategorií v závislosti na druhu vody a způsobu jejího využití, kterými jsou Zálivka, Zálivka + WC a Šedá voda+. Jednotková výše finanční podpory začíná na 55 000 Kč.

Posuzovaný systém pro recyklaci odpadních vod odpovídá třetí kategorii, tj. Šedá voda+, pro kterou je výsledná výše finanční podpory stanovena dle vzorce:

$$135\,000 + 5\,000 \times x + 5\,000 \times b$$

kde je:

x objem nádrže v m³ na dešťovou nebo vyčištěnou odpadní vodu, případně součet těchto objemů
b počet napojených bytových jednotek do systému

Vyčíslením výše uvedeného vzorce stanovíme možnou výši finanční podpory na:

$$135\,000 + 5\,000 \times 100 + 5\,000 \times 157 = \mathbf{1\,420\,000\,Kč}^3$$

³ Uvedené hodnoty odpovídají návrhovému stavu I

3.3.2.4 Stanovení doby návratnosti

Pro jednotlivé návrhové stavy byla posouzena ekonomická doba návratnosti a výsledná bilance nákladů na konci doby předpokládané minimální životnosti.

Tabulka 8 – Ekonomické posouzení návrhových stavů

STAV	NS 1	NS 2	NS 3	NS 4
ODBĚR VODY	roční množství dodávané vody 15 804,6 m³ roční množství odváděné vody 17 697,9 m³	roční množství dodávané vody 22 034,4 m³ roční množství odváděné vody 22 034,4 m³	roční množství dodávané vody 15 804,6 m³ roční množství odváděné vody 17 466,2 m³	roční množství dodávané vody 25 022,5 m³ roční množství odváděné vody 22 034,4 m³
VYUŽITÍ VOD	pořizovací náklady 13 584 309 Kč provozní náklady na dobu životnosti 2 244 551 Kč roční úspora vody 8 837,4 m³	pořizovací náklady 0 Kč provozní náklady na dobu životnosti 0 Kč roční úspora vody 0,0 m³	pořizovací náklady 11 721 595 Kč provozní náklady na dobu životnosti 1 600 708 Kč roční úspora vody 6 229,8 m³	pořizovací náklady 986 592 Kč provozní náklady na dobu životnosti 125 776 Kč roční úspora vody -380,5 m³
NÁVRATNOST SYSTÉMU				
	doba návratnosti 17 let finanční úspory na konci zkoumaného období 3 356 659 Kč	doba návratnosti nehodnoceno finanční úspory na konci zkoumaného období 0 Kč	doba návratnosti >20 let finanční úspory na konci zkoumaného období -1 624 303 Kč	doba návratnosti nedosažitelné finanční úspory na konci zkoumaného období -3 950 742 Kč

Ze stanovených výsledků je patrné, že navržený systém pro recyklaci odpadních vod (návrhový stav 1) je schopen udržitelného fungování s výslednou dobou návratnosti 17 let v rámci stanovené minimální životnosti. I přes vyšší počáteční náklady, dokáže díky značným úsporám na zvyšujících se predikovaných cenách dodávané pitné a odváděné odpadní vody, dosáhnout ekonomické návratnosti. Za zmínku stojí fakt, že i když je doba návratnosti relativně dlouhá, výsledné úspory na konci zkoumaného období dosahují zhruba 1/4 pořizovacích nákladů. Započtením výše vyčíslené hodnoty dotační podpory je možné stanovenou dobu návratnosti zkrátit o celé 2 roky. Zařazením dalších úsporných opatření v podobě rekuperátorů tepla z odpadních vod, či fotovoltaické elektrárny lze rovněž očekávat její následné snížení. Nicméně je vhodné si připomenout, že v rámci ekonomického posouzení došlo k několika zjednodušením či předpokladům, které mohou v konečném důsledku ovlivnit skutečnou rentabilitu systému. Na základě těchto aspektů je vhodné navržený systém podrobit bližšímu posouzení, včetně aplikace některých z úsporných opatření a podrobnější specifikace jednotlivých komponentů a jejich vazeb na další systémy.

V případě varianty referenční stavby bez využití vegetačních prvků (návrhový stav 3) lze spatřit obdobné tendence, jako je tomu u 1. návrhového stavu. Nicméně navržený systém i přes nižší pořizovací náklady nedokáže dosáhnout návratnosti v rámci stanovené dvacetileté životnosti. To jest dáno především nižší mírou podílu recyklované odpadní vody vlivem vyšších zisků srážkových vod a absencí výrazné spotřeby přečištěných vod v podobě zavlažování.

4. návrhový stav již ze své podstaty dodatečné potřeby závlahové vody, nemůže nikdy dosáhnout ekonomické návratnosti. Řešením je, stejně jako u ekologického posouzení, vyloučit dodatečnou potřebu na odběr pitné vody.

Podrobná roční bilance návrhových stavů viz Příloha 3 – Výpočtová část.

4 ZÁVĚR

Na základě provedených zkoumání došlo k hlubšímu porozumění problematiky znečištění odpadních vod, včetně bližší analýzy jejich složení a původu. Díky těmto poznatkům lze identifikovat klíčové faktory, jež ovlivňují kvalitu odpadních vod a přispívají tak k ekologickým i zdravotním problémům. Tyto poznatky jsou zásadní pro navrhování efektivních opatření a technologií pro čištění odpadních vod a ochranu životního prostředí.

Součástí návrhu architektonické studie nového areálu vysokoškolského ubytování byla provedena mimo jiné i koncepce systému pro recyklaci odpadních vod. Tento systém byl navržen na základě potřeb daného provozu v kombinaci s využitím dostupných moderních řešení v oblasti čištění šedých odpadních vod.

Následné ekonomicko-ekologické posouzení prokázalo, že zavedení navržených opatření má potenciál významně snížit celkovou spotřebu pitné vody. Přesto, že ekonomická stránka vykazuje určité výzvy, existuje celá řada možností k dalším výzkumům, s cílem najít vhodná opatření pro optimalizaci nákladů. Výsledkem by mohla být detailní analýza nákladů jednotlivých opatření, jejich návaznost na další profese, či identifikaci potenciálních úspor a zhodnocení jejich dlouhodobé udržitelnosti. Současně by se mohly zaměřit na vývoj nových technologií a inovativních přístupů k úspoře vody, což by vedlo k efektivnějšímu využívání vodních zdrojů a ochraně přírodních ekosystémů.

POUŽITÉ ZDROJE

1. **Akademie věd České republiky.** Současný problém sucha v ČR. *AVex: expertní stanovisko AV ČR*. květen 2019, AVex 3/2019.
2. **ČESKO.** Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) - znění od 1. 2. 2022. *zakonyprolidi.cz*. [Online] © AION CS 2010-2023. [Citace: 22. 3. 2023.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.
3. **KLUIBR, Josef Ing.** *Odpadní vody*. Vodňany : Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie Vodňany, 2003. ISBN 978-80-87096-03-1.
4. **VOTÁPKOVÁ, Jitka.** *Odpadní vody*. [Diplomová práce] Brno : Masarykova univerzita, Právnická fakulta, 2008. doc. JUDr. Ivana Průchová, CSc. a JUDr. Jana Tkáčíková, Ph.D., https://is.muni.cz/th/jn17k/diplomova_prace.pdf?fbclid=IwAR0CKHv53LHmDo6Znrf0vlphte-R_PmDLswCYQlsjPxEcIqBR5H6YjNh6S4.
5. **ČESKO.** Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). *zakonyprolidi.cz*. [Online] © AION CS 2010-2023. [Citace: 29. 3. 2023.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>.
6. **KRAUS, Michal Mgr.** Šedá a černá voda aneb Jak se dělí odpadní vody v domácnosti. *zakra.cz*. [Online] 24. 1. 2022. [Citace: 29. 3. 2023.] <https://zakra.cz/blog/jak-se-deli-odpadni-vody-v-domacnosti>.
7. **VINAŘ, Pavel.** Využití šedé odpadní vody v domě, vyplatí se to? *vodarium.cz*. [Online] 23. 9. 2021. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://vodarium.cz/vyuziti-sede-odpadni-vody>.
8. **EuroClean, s.r.o.** Čištění vod ve zdravotnických zařízeních. *tzb-info.cz*. [Online] 12. 8. 2020. [Citace: 31. 3. 2023.] <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21027-cisteni-vod-ve-zdravotnickych-zarizenich>.
9. **BINDZAR, Jan Ing. Ph.D. a kolektiv.** *Základy úpravy a čištění vod*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009. ISBN 978-80-7080-729-3.
10. **České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí.** *Znečištění vod*. [Prezentace] Praha : České vysoké učení technické, © 2007.

11. **MOJIRI, Amin a BASHIR, Mohammed J. K.** Wastewater Treatment: Current and Future Techniques. *MDPI*. [Online] 1. 2. 2022. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/448>.
12. **EuroClean s.r.o.** Amonné ionty, amoniak ve vodě - jak odstranit. *tzbinfo*. [Online] 26. 11. 2018. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/123967-amonne-ionty-amoniak-ve-vode-jak-odstranit>.
13. **HESOVÁ, Alena.** Čističky zvládnou vodu téměř zbavit zbytků léčiv. Z 27 tisíc tablet ibalginu se do přírody vrátí jenom 300. *iROZHLAS*. [Online] 31. 8. 2023. [Citace: 29. 5. 2024.] https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/veda/leky-ve-vode-vyzkum-odpadnich-vod_2308311253_zuj.
14. **KEMÉNYOVÁ, Zuzana.** Antibiotika nesplachovat. V odpadních vodách tím pěstujeme bakterie odolné vůči léčbě. *Hospodářské Noviny*. [Online] 19. 10. 2023. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://archiv.hn.cz/c1-67247720-antibiotika-nesplachovat-v-odpadnich-vodach-tim-pestujeme-bakterie-odolne-vuci-lecbe>.
15. **EuroClean s.r.o.** Jaké organismy můžeme najít v infekčních vodách a jak je dezinfikovat. *EuroClean*. [Online] 19. 7. 2021. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://euroclean.cz/clanky/dezinfekce-infekcnich-vod-infekcni-vody-nejcastejsi-mikroorganismy-a-metody-dezinfekce>.
16. **Odbor stavebního řádu.** VSAKOVÁNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD. *MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR*. [Online] 2019. [Citace: 14. 4. 2024.] https://mmr.gov.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Metodika-vsakovani_srpe.
17. **ČVUT Praha, et al.** *Hospodaření se srážkovými vodami*. [odvětvová technická norma vodního hospodářství] Praha : Sweco Hydroproject a.s., Březen 2013. TNV759011.
18. **Hellstein spol. s.r.o.** Historie kanalizace sahá až do starověku. *tzbinfo*. [Online] 6. 6. 2019. [Citace: 26. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/19134-historie-kanalizace-saha-az-do-staroveku>.
19. **Waivin Czechia s.r.o.** Historie kanalizace I.: od Mezopotámie k římským spa. *Waivin*. [Online] 20. 12. 2021. [Citace: 26. 5. 2024.] <https://blog.wavin.com/cs-cz/historie-kanalizace1>.

20. **KUČOVÁ, Jitka.** Cloaca Maxima - obří starověký kanalizační systém slouží dodnes. *Memento historia*. [Online] 10. 2. 2022. [Citace: 26. 5. 2024.] <https://www.memento-historia.cz/clanek/174/cloaca-maxima-obri-staroveky-kanalizacni-system-slouzi-dodnes>.
21. **HÁNKOVÁ, D. Ing.** *Kanalizační stoky*. [PDF] Praha : České vysoké učení technické v Praze, 15. 9. 2006.
22. **DVOŘÁKOVÁ, Denisa Ing.** Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění. *tzbinfo*. [Online] 19. 2. 2007. [Citace: 25. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>.
23. **OŠLEJŠKOVÁ, Monika Ing.** Šedá voda ve zdravotní technice. *tzbinfo*. [Online] 31. 1. 2011. [Citace: 29. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/7110-seda-voda-ve-zdravotni-technice>.
24. **JIRMUS, Vladimír Ing. a DREW, Bob.** Recyklace šedé vody – nevyužitý zdroj uvnitř budovy. *Tzbinfo*. [Online] 16. 5. 2016. [Citace: 31. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14210-recyklace-sede-vody-nevyuzity-zdroj-uvnitř-budovy>.
25. **AKIRE s.r.o.** Rekuperace tepla z odpadních kanalizačních vod zpět do rodinných domů a ostatních objektů. *tzbinfo*. [Online] 12. 3. 2018. [Citace: 31. 5. 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17072-rekuperace-tepla-z-odpadnich-kanalizacnich-vod-zpet-do-rodinnych-domu-a-ostatnich-objektu>.
26. **Příspěvatelé Wikipedie.** Biochemická spotřeba kyslíku. *wikipedia*. [Online] 18. 4. 2022. [Citace: 31. 5. 2024.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Biochemick%C3%A1_spot%C5%99eba_kysl%C3%ADku.
27. —. Chemická spotřeba kyslíku. *wikipedia*. [Online] 18. 4. 2022. [Citace: 31. 5. 2024.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Chemick%C3%A1_spot%C5%99eba_kysl%C3%ADku.
28. —. Čistírna odpadních vod. *wikipedia*. [Online] 6. 3. 2024. [Citace: 31. 5. 2024.] https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod.

29. **KRAUS, Michal.** Co je a jak funguje kořenová čistička. *zakra*. [Online] 27. 12. 2022. [Citace: 31. 5. 2024.] <https://www.zakra.cz/blog/co-je-korenova-cisticka-a-jak-funguje>.
30. **Grohe ČR s.r.o.** Úvod. *voda.ltd*. [Online] 25. 5. 2022. [Citace: 27. 5. 2024.] <https://www.voda.limited>.
31. **KONCEPT EKOTECH s.r.o.** *Recyklace šedé vody v budovách*. [Dokument] Praha : www.koncept-ekotech.com.

POUŽITÝ SOFTWARE

- Microsoft Word 2019
- Microsoft Excel 2019
- Allplan 2021
- KROS 4

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Radiální systém stokové sítě (3).....	22
Obrázek 2 – Větevový systém stokové sítě (3).....	22
Obrázek 3 – Úchytný systém stokové sítě (3)	23
Obrázek 4 – Pásmový systém stokové sítě (3)	23
Obrázek 5 – Schéma dopravního řešení	32
Obrázek 6 – Orientační značení budov	33
Obrázek 7 – Členění spotřeby vody v české domácnosti (25).....	41
Obrázek 8 – Graf navrženého členění spotřebních režimů.....	41
Obrázek 9 – Graf podílu zdrojů pro čištění vod	43
Obrázek 10 – Schéma navržené čistírny (26)	44
Obrázek 11 – Graf podílu využití přečištěných vod.....	46
Obrázek 12 – Predikce vývoje cen vodného a stočného (zdroj dat: vodarna.cz)	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Využitelné množství srážkových vod za rok	37
Tabulka 2 – Jednotkové závlahové množství	39
Tabulka 3 – Celkové závlahové množství	39
Tabulka 4 – Výpočet roční spotřeby vody.....	40
Tabulka 5 – Celkové množství využitelných odpadních vod.....	42
Tabulka 6 – Bilance využití přečištěných vod.....	45
Tabulka 7 – Ekologické posouzení návrhových stavů.....	49
Tabulka 8 – Ekonomické posouzení návrhových stavů.....	53

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA 1 Umístění referenční stavby
- PŘÍLOHA 2 Dispoziční řešení referenční stavby
- 2.01 *Půdorys 1.PP*
 - 2.02 *Půdorys 1. NP – budova A*
 - 2.03 *Půdorys 1. NP – budova B*
 - 2.04 *Půdorys 1. NP – budova C*
 - 2.05 *Půdorys 1. NP – budova D*
 - 2.06 *Půdorys 1. NP – budova E*
 - 2.07 *Půdorys běžné podlaží – budova A, B, C*
 - 2.08 *Půdorys běžné podlaží – budova D, E*
 - 2.09 *Půdorys střešní podlaží*
- PŘÍLOHA 3 Výpočtová část
- PŘÍLOHA 4 Vizualizace referenční stavby